551.4
Am8p
NO.27

THE LIBRARY OF THE
DEC 21 1978
UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA-CHAMPAIGN

DE STUIFZANDEN VAN DE VELUWE; EEN FYSISCH-GEOGRAFISCHE STUDIE

THE EOLIAN DRIFT SANDS OF THE VELUWE (CENTRAL NETHERLANDS);
A PHYSICAL GEOGRAPHICAL STUDY

DR. E.A. KOSTER

PUBLICATIES VAN HET FYSISCH GEOGRAFISCH EN BODEMKUNDIG LABORATORIUM
VAN DE UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM NR 27 (1978)

Digitized by the Internet Archive
in 2025 with funding from
University of Illinois Urbana-Champaign Alternates

https://archive.org/details/publicatiesvanhe2719univ

DE STUIFZANDEN VAN DE VELUWE; EEN FYSISCH-GEOGRAFISCHE STUDIE

THE EOLIAN DRIFT SANDS OF THE VELUWE (CENTRAL NETHERLANDS);
A PHYSICAL GEOGRAPHICAL STUDY

DR. E.A. KOSTER

PUBLICATIES VAN HET FYSISCH GEOGRAFISCH EN BODEMKUNDIG LABORATORIUM
VAN DE UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM NR 27 (1978)

"AUCH AUF DEN SCHON LÄNGST BEWÄLTIGTEN STREKEN
LAUERT DER DÄMON DES FLUGSANDES NOCH ÜBERALL UNTER DER VEGETAZION,
DIE IHN BEZWANG, UM AN JEDER STELLE WIEDER
HERVORZUBRECHEN, WO UNVERSTAND ODER MOMENTANE HABGIER SICH
BEIKOMMEN LASSEN, DURCH VERNICHTUNG DER SCHÜZENDEN HÜLLE
IHN NEUERDINGS ZU ENTFESSELN".

J. WESSELY, 1873
DER EUROPÄISCHE FLUGSAND UND SEINE KULTUR. WIEN.

INHOUD:

Pag.

ABSTRACT ... 7

VERANTWOORDING ... 8

1 INLEIDING
Methoden van onderzoek ... 9

2 TERMINOLOGIE EN MORFOGRAFIE
2.1 Terminologie van zandige windafzettingen en duinvormen ... 11
2.2 Eenheden van het stuifzandreliëf en de stuifzandvormen ... 13

3 VERBREIDING EN ONDERZOEK VAN STUIFZANDEN IN NEDERLAND
3.1 Stuifzanden in Nederland ... 17
3.2 Stuifzanden op de Veluwe ... 20
3.3 Facetten van stuifzandonderzoek ... 24
3.3.1 Genese ... 24
3.3.2 Bodemvorming ... 26
3.3.3 Vegetatie en mikroklimaat ... 27
3.3.4 Ouderdom ... 30

4 ORIENTATIE
4.1 Inleiding ... 33
4.2 Oriëntatie van stuifzandvormen ... 34
4.3 Frequentieverdeling van de windrichtingen in relatie tot het zandtransport ... 40
4.4 Vergelijking met de oriëntatie van dekzandvormen en kust- en landduinen ... 43

5 KORRELGROOTTE
5.1 Inleiding ... 45
5.2 Textuur van duinzanden in relatie tot de sedimentaire struktuur ... 45
5.3 Korrelgrootte-analysen ... 47
5.4 Korrelgrootteverdeling ... 52
5.4.1 Korrelgrootteverdeling in relatie tot de regionale verbreiding en herkomst ... 54
5.4.2 Korrelgrootteverdeling in relatie tot de geomorfologie ... 60
5.4.3 Verschillen tussen stuif- en dekzanden ... 62

6 KORRELSAMENSTELLING
6.1 Inleiding ... 65
6.2 Hoeveelheden gekleurde korrels ... 65
6.3 Gewichtspercentages zware mineralen ... 68
6.3.1 Gewichtspercentages zware mineralen in relatie tot de korrelgrootteverdeling ... 68
6.3.2 Gewichtspercentages zware mineralen in relatie tot de bodemvorming ... 71
6.3.3 Gewichtspercentages zware mineralen in relatie tot het type materiaal en de regionale verbreiding ... 71
6.4 Mineralogische samenstelling ... 72

7 KORRELAFRONDING EN -OPPERVLAKTE-EIGENSCHAPPEN
7.1 Inleiding ... 75
7.2 Abrasie en vormselektie tijdens windtransport ... 76
7.3 Methode van afrondingsonderzoek ... 77
7.4 Afronding van stuifzanden in vergelijking tot andere afzettingen ... 78
7.5 Oppervlaktetexturen bij zwakke vergroting ... 83
7.6 Oppervlaktetexturen bij sterke vergroting ... 85

8 VERLOOP VAN DE INDRINGINGSWEERSTAND IN STUIF- EN DEKZANDPROFIELEN
8.1 Inleiding ... 91
8.2 Indringingsweerstand in zandgronden ... 91
8.3 Weerstandsprofielen in stuif- en dekzanden ... 93

9 AARD EN VERDELING VAN HUMUSKOMPONENTEN
9.1 Inleiding ... 99
9.2 Mikromorfologisch onderzoek van stuif- en dekzanden ... 99
9.3 Beschrijving van de onderzochte profielen ... 101
9.4 Beschrijving van de slijpplaten ... 104
9.4.1 Textuur- en struktuurkenmerken ... 104
9.4.2 Organische bestanddelen ... 109
9.5 Interpretatie ... 111

10 OUDERDOM EN VEGETATIE-ONTWIKKELING
10.1 Inleiding ... 115
10.2 Pollenprofiel in stuif- en dekzanden ... 115
10.3 Rekonstruktie van het subatlantische pollenprofiel ... 116
10.3.1 Literatuuroverzicht ... 116
10.3.2 Presentatie en zonering van de pollendiagrammen ... 118
10.4 Beschrijving en interpretatie van de pollendiagrammen ... 119
10.4.1 Overstoven venen ... 119
10.4.2 Overstoven bodemprofielen ... 128
10.5 Konlusies ... 136
10.5.1 Ouderdom ... 136
10.5.2 Vegetatie-ontwikkeling en invloed van de mens ... 136
10.6 Ontstaan van stuifzanden en de duinafzettingen langs de kust ... 138
10.7 Klimaatschommelingen in het Subatlanticum ... 139

11 GEOMORFOLOGIE
11.1 De ondergrond van de Veluwse stuifzanden ... 141
11.2 Geomorfologische kartering ... 144
11.3 Morfogenese van een Noord-Veluws, reliëfrijk stuifzandgebied, in het bijzonder van plateaurestduinen ... 145
11.4 Morfogenese van een Midden- en Zuidwest-Veluws, reliëfrijk stuifzandgebied, in het bijzonder van randwalduinen ... 150
11.5 Morfogenese van een Midden-Veluws, reliëfarm stuifzandgebied ... 152
11.6 Relatie geomorfologie, materiaaleigenschappen, ouderdom en herkomst van zandige windafzettingen ... 155

12 VERBREIDING EN AARD VAN STUIFZANDEN EN LAND- (EN RIVIER)-DUINEN IN NOORD-, WEST- EN MIDDEN-EUROPA
12.1 Verbreiding ... 159
12.2 Voorkomen, genese en ouderdom; een literatuuroverzicht ... 161

SAMENVATTING ... 167

SUMMARY ... 171

LITERATUUR ... 175

APPENDICES ... 185

Koster, E.A., 1978. De stuifzanden van de Veluwe; een fysisch-geografische studie (summ.: The eolian drift sands of the Veluwe (Central Netherlands); a physical geographical study). Publ. Fys. Geogr. en Bodemk. Lab., Univ. van Amsterdam, nr. 27 : 1-195, 82 figs., 13 tab., 9 app.

ABSTRACT

The areal distribution, morphogenesis, sediment properties and age of partly active drift sands of the Veluwe are discussed. Orientation measurements of dune forms and of drift sand areas show a marked preference for transport directions from WSW to ENE, as these coincide with dominant directions of high velocity winds.
Detailed analyses of the grainsize distribution, the mineralogical composition and the roundness distribution of sandsize fractions of the drift sand deposits demonstrate slight but significant regional differences in these sediment properties of the otherwise highly uniform sediments. They indicate that Late-Glacial (Wurmian) cover sands have locally been redeposited as drift sands. Differences in soil profile development, grain packing and character and distribution of organic matter within the sands, together with the geomorphology enable cover sands and drift sands to be distinguished. Extensive palynological investigations, confirmed by radiocarbon datings, of 'blown-over' peat layers and soil profiles prove that the drift sand transportation in the Veluwe took place during the Subatlantic, mainly after 1150 to 1250 A.D., as a result of the destructional activity of man. This is synchronous with the formation of the Younger coastal dune belt of The Netherlands and adjacent countries. It is tentatively suggested that resedimentation of eolian material in coastal and inland dune areas in The Netherlands and neighbouring countries occurred in the Late Middle Ages on a larger scale than has previously been assumed. The morphogenesis of several drift sand areas is reconstructed and attention is drawn to the formation of specific eolian 'form-types'. The study is concluded by a chapter summarising the literature concerning the areal distribution and genesis of eolian sand deposits in north-, west- and middle-European countries.

E.A. Koster, Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium, Universiteit van Amsterdam, Dapperstraat 115, 1093 BS Amsterdam, The Netherlands.

VERANTWOORDING

De hulp van velen is bij het veld- en laboratoriumonderzoek en bij het schrijven van deze studie onontbeerlijk geweest. Voor het tijdrovende materiaalonderzoek is gebruik gemaakt van een aantal, in de fysische geografie veelvuldig gehanteerde hulpdisciplines, waarbij dankbaar gebruik is gemaakt van de specialistische kennis van vele kollega's.

Prof. Dr. G.C. Maarleveld ben ik veel dank verschuldigd voor de begeleiding tijdens diverse stadia van het onderzoek. Zonder de nauwgezette kritiek en waardevolle hulp tijdens de vervaardiging van het uiteindelijke manuscript was dit werkstuk in deze vorm nooit tot stand gekomen.

Voor de adviezen van Prof. Dr. J.D. de Jong, die de presentatie van dit onderzoek ten goede zijn gekomen, wil ik tevens mijn dank uitspreken.

Mijn kollega's van het Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium hebben een groot aandeel gehad in de voltooiing van deze studie. Voor het vele monsteronderzoek wil ik mijn dank uitspreken aan de analisten van ons laboratorium destijds onder leiding van Dr. H.J. Müller en Dr. Ir. J. van Schuylenborgh. Zonder anderen tekort te willen doen, wil ik gaarne in het bijzonder de volgende personen bedanken voor hun hulp en adviezen: Hr. A.J.J. Bolt, Mevr. I. Castel, Mevr. A.J. van Feggelen, Dr. A.C. Imeson, Mevr. M.C.G. Keijzer, Drs. E.A. Kummer, Drs. F.J.P.M. Kwaad, Drs. J.J.M. van der Meer, Drs. H.J. Mücher, Drs. P.A. Riezebos, Dr. R.T. Slotboom, Hr. H.P.M. Stoltenberg, Drs. J.M. Verstraten, Hr. C. Zeegers en Drs. G.F.A. van Zuylen. Verder zijn mij behulpzaam geweest Drs. N.H.W. Donker, Drs. O.K. Hulshof, Hr. B. de Lange en Drs. H. Struyk.

De heer H.G. Opentij en zijn medewerkers van het Laboratorium NWO van de Gemeentelijke Sociale Werkverbanden van de gemeente Amsterdam ben ik erkentelijk voor hun, met precisie uitgevoerde hulp op velerlei terrein.

Het A.E. van Giffen Instituut voor Pre- en Protohistorie van deze universiteit verleende mij gastvrijheid te Kootwijk en enkele van haar medewerkers kan ik bedanken voor de prettige samenwerking.

Dr. W.G. Mook van het Natuurkundig Instituut van de Universiteit te Groningen ben ik erkentelijk voor zijn bereidwilligheid enkele C-14 dateringen te verzorgen.

Voor de uiteindelijke presentatie gaat mijn dank uit naar de Heer A. Eikeboom en Mevrouw P. de With voor het omvangrijke en uitstekend verzorgde foto- respektievelijk tekenwerk.

Van de instanties, die mij toestemming verleenden tot het verrichten van veldonderzoek op hun terreinen, wil ik noemen: Het Nationale Park 'De Hoge Veluwe', De Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten, Het Gelders Landschap, Staatsbosbeheer (Kring Arnhem), het Artillerie Schietkamp Oldebroek en het Infanterie Schietkamp Harskamp.

De Belgische, Deense, Engelse, Finse en Poolse kollega's, die mijn vrouw en mij gastvrij hebben ontvangen en enigszins wegwijs hebben gemaakt in de landduingebieden in hun land wil ik hiervoor van harte bedanken.

Het voor deze studie noodzakelijke veldonderzoek had ik niet kunnen volbrengen zonder de hulp van een groot aantal, mij assisterende, fysisch geografische en M.O. aardrijkskunde studenten.

Vermeld moet worden, dat voor een deel van het veldonderzoek in de zomer van 1969 een subsidie is ontvangen van de Stichting Molengraaf-Fonds.

De grootste dank verdient mijn vrouw, die het werken aan deze studie mogelijk en dragelijk heeft gemaakt en voor het feit, dat zij waarschijnlijk de enige is geweest, die nooit heeft getwijfeld aan de voltooiing ervan.

1 INLEIDING

De geomorfologie van duinvormen en de sedimentologie en stratigrafie van zandige windafzettingen zijn in Nederland veelvuldig onderwerp van studie geweest. Het grootste deel van de beschikbare informatie wordt echter in op meestal één facet of regio gerichte deelstudies gevonden. De meeste aandacht is tot dusverre besteed aan het onderzoek van dekzanden en kustduinen, terwijl de landduinen c.q. stuifzanden veel minder in de belangstelling hebben gestaan, niettegenstaande de grotendeels bodemkundige, respektievelijk vegetatiekundige studies van stuifzanden door Schelling (1955) en Stoutjesdijk (1959). Een fysisch-geografisch gericht onderzoek naar de morfogenese, materiaaleigenschappen, ouderdom en herkomst van stuifzanden ontbrak tot nu toe. Ook was er tot thans geen poging ondernomen om de vormingsperioden van de windafzettingen langs de kust te korreleren met die van elders. Het bovenvermelde maakte een studie van de stuifzanden op de Veluwe aantrekkelijk, omdat deze aldaar hun grootste uitbreiding in ons land bezitten. Het onderzoek is aangevangen in 1966 en het veldwerk vond plaats tot en met 1972.

De doelstellingen bij de aanvang van het veldonderzoek op de Veluwe luidden als volgt:

a. Het vervaardigen van geomorfologische kaarten en het rekonstrueren van de morfogenese van enkele stuifzandgebieden.
b. Het onderzoeken van de materiaaleigenschappen en het bepalen van de herkomst van de stuifzandafzettingen.
c. Het nagaan van de ontstaansvoorwaarden voor het plaatsvinden van zandverstuivingen en het dateren van de aanvang van de verstuivingen.
d. Het aangeven van lithologische en morfografische verschillen tussen stuifzand(vormen) en dekzand(vormen).

Methoden van onderzoek

Voor de karteringen zijn, voorzover bekend bij de schrijver, alle thans beschikbare topografische, geomorfologische, geologische en bodemkundige kaarten van de Veluwe geraadpleegd. Oudere uitgaven van de topografische kaarten van de Veluwe (schaal 1:25.000 en 1:50.000) vanaf het midden van de vorige eeuw zijn bestudeerd. Bodemkundige rapporten en daarbij behorende gedetailleerde kaarten van de Veluwse boswachterijen en militaire oefenterreinen zijn geraadpleegd. Van alle topografische kaarten (schaal 1:25.000) van de Veluwe en van enkele beschikbare hoogtepuntenkaarten (schaal 1:10.000) zijn hoogteklassen ingekleurd met hoogtelijnen-intervallen van 2,5 m respektievelijk 0,5 m. Voor het overzicht van de verbreiding van stuifzanden in Nederland zijn alle topografische kaarten (schaal 1:25.000) in samenhang met de Bodemkaart van Nederland (schaal 1:200.000) en de thans aanwezige geologische en bodemkundige kaartbladen (schaal 1:50.000) bestudeerd. Van delen van de stuifzandgebieden zijn de luchtfoto's geanalyseerd. De omgrenzing van de Veluwse stuifzandgebieden (appendix 1) is opgenomen op de topografische kaart (schaal 1:25.000). De gebieden waar studiekarteringen verricht zijn, staan aangegeven in appendix 1.

Afhankelijk van de vormontwikkeling van het stuifzandreliëf zijn voor de geomorfologische karteringen (opname-schaal meestal 1:10.000) slechts 1 à 5 boringen per 10 ha nodig gebleken, voornamelijk om de aan- of afwezigheid van een overstoven bodemprofiel en de dikte en aard van de stuifzandbedekking te kunnen vaststellen. In de niet in kaart gebrachte stuifzandgebieden zijn verspreide waarnemingen gedaan omtrent de morfografie, materiaalsamenstelling en ouderdom van de stuifzanden. De monsters voor materiaalonderzoek zijn verzameld met behulp van boringen of in gegraven profielkuilen en wanden van aanwezige groeves. De bemonsteringsdiepten variëren van 0 tot ca 5 m diepte. De gevolgde methoden van onderzoek bij de bewerking van de monsters worden besproken in de desbetreffende hoofdstukken. Bij de beschrijving van de materialen en van de bodemprofielontwikkeling in de afzettingen is het systeem van de Nederlandse bodemklassifikatie volgens De Bakker & Schelling (1966) gevolgd. Op enkele plaatsen zijn lakprofielen van stuifzand- en dekzandafzettingen vervaardigd. Voorkomende hoogteverschillen en hellingen van de stuifzandvormen zijn geschat of gemeten met behulp van een waterpasinstrument en met een hellingmeter. In een aktief stuifzandgebied zijn mikroklimatologische metingen verricht. De in de tekst genoemde lokaties, de bemonsteringsplaatsen voor materiaalonderzoek en de overige waarnemingspunten op de Veluwe staan aangegeven in appendix 1. Beknopte gegevens over de verbreiding en aard van zandige windafzettingen in Europa zijn mede verzameld middels een vragenformulier, dat aan een 60-tal geografische, geologische en bodemkundige instanties in Europa is verzonden.

2 TERMINOLOGIE EN MORFOGRAFIE

2.1 Terminologie van zandige windafzettingen en duinvormen

Dekzanden en duinen nemen in het Noordwest-Europese laagland grote oppervlakken in beslag. De bekendste indeling is die in dekzanden, kustduinen, landduinen en rivierduinen. Laatstgenoemde duinen worden overigens om praktische redenen meestal tot de landduinen gerekend. De naamgeving van zandige windafzettingen en daarmee samenhangende terreinvormen is echter vaak onduidelijk, daar termen met een geomorfologische, stratigrafische of lithologische betekenis door elkaar gebruikt worden. Zo worden de in Nederland gebruikelijke benamingen stuifzand en dekzand zowel gebruikt om een verschil in reliëftype, als om een verschil in ouderdom of aard van het materiaal aan te geven.

Bij de geomorfologische kartering (schaal 1:50.000) van ons land maakt men een onderscheid in geïsoleerde landduinen en stuifdijken, landduinen met bijbehorende vlakten en laagten, aktieve stuifzanden, stuifzandvlakten en verschillende dekzandvormeenheden. De landduinen worden gekenmerkt door de aanwezigheid van zeer korte, steile hellingen en zijn begroeid, terwijl bij aktieve stuifzanden de begroeiing ontbreekt. Ook bij de Geomorfologische kaart van Nederland (schaal 1:600.000) worden de rivierduinen ondergebracht bij de landduinen.

Op de Geologische kaart van Nederland (schaal 1:600.000) worden duin- en strandafzettingen, stuifzanden, dekzanden en rivierduinafzettingen onderscheiden. Bij de geologische kartering worden lithostratigrafische eenheden gebruikt, die zodanig zijn gekozen, dat ook de genese en ouderdom zoveel mogelijk tot uitdrukking komen. De kustduin- en strandafzettingen worden gerekend tot de Westland Formatie. De stuifzanden, behorende tot de Formatie van Kootwijk, zijn de zandige windafzettingen, die overwegend ontstaan zijn door lokale verstuiving van pleistocene afzettingen en die gekenmerkt worden door een losse pakking, een lichte geelgrijze kleur, de aanwezigheid van vuilgrijze humushoudende lagen en het ontbreken van een diep ontwikkeld podsolprofiel. De dekzanden daarentegen, die tot de Formatie van Twente worden gerekend, bezitten een minder losse pakking dan de stuifzanden, een diep ontwikkeld bodemprofiel en vertonen dikwijls periglaciale verschijnselen. Volgens Ter Wee (1966), Van den Toorn (1967) en Bisschops (1973) zijn de stuifzanden in Zuidwest-Drente en Noord-Brabant over het algemeen tevens iets grover dan de dekzanden. De rivierduinafzettingen, voorkomend als donken, worden op de Geologische kaart van Nederland (schaal 1:600.000) gerekend tot de Formatie van Kreftenheye. De voor een deel verstoven rivierduinafzettingen langs de Maas worden tot de Formatie van Kootwijk gerekend.

In de bodemkundige praktijk wordt het begrip stuifzand gebruikt voor de niet aan de kust gebonden windafzettingen, die als belangrijkste kenmerk een zwakke of geen bodemprofielontwikkeling hebben. Komen in een gebied duinen voor met diep ontwikkelde podsolen dan spreekt men wel van oudere stuifzanden. Een zandige windafzetting wordt als dekzand beschouwd, als een diep ontwikkeld bodemprofiel aanwezig is en het reliëf en de ligging van de zanden er mede aanleiding toe geven.

In deze studie wordt het begrip *stuifzand** gebruikt voor alle aan terrestrische pakketten ontleende, zandige windafzettingen liggend op een duidelijk ontwikkeld bodemprofiel en tevens de niet op een duidelijk ontwikkeld bodemprofiel rustende, zandige windafzettingen, die eveneens gekenmerkt worden door een overwegend licht geelgrijze kleur, een losse pakking en de aanwezigheid van humushoudende laagjes. Zandige windafzettingen met een minder losse pakking en een diep ontwikkeld bodemprofiel alleen aan de bovenzijde van het pakket, worden afhankelijk van de geomorfologische gesteldheid als *dekzanden** beschouwd of tot de landduinen of rivierduinen gerekend. Van de op deze wijze gedefinieerde stuifzanden staat vast, dat het merendeel van de voorkomens dateert van na het begin van de Middeleeuwen. De dekzanden van de Formatie van Twente zijn afgezet gedurende het Weichselien.

Voor een geomorfologische klassifikatie van de vormeenheden van een duingebied kunnen diverse kriteria aangelegd worden:

a. morfografisch-morfometrisch, op grond van algemene vormomschrijving en meetbare terreinkenmerken als hoogte boven de direkte omgeving, hellingshoeken, oriëntatie en omtrekkarakteristieken,

* In de Duitse literatuur worden landduinen of 'Binnen(lands)-dünen' afhankelijk van hun vormontwikkeling ook wel aangeduid met de termen 'Flugsanddünen', 'Flugsandfelder', 'Flugsandwellen', 'Flugsandebenen', 'Dünenwellen' en 'Dünenwellenfelder', terwijl gebruikelijke benamingen als 'Flugsand', 'Flugdecksand', 'Decksand' en 'Dünensand' weinig systematisch worden gehanteerd voor zowel in ouderdom als in geomorfologie, verschillende windafzettingen (Dücker & Maarleveld, 1957; Erbe, 1958; Arens, 1964; Hagedorn, 1964). Soms wordt ook gebruik gemaakt van de termen 'Wehsand' en 'Staubsand'. Met de termen stuifzanden en dekzanden, min of meer synonieme Engelse en Franse benamingen zijn 'drift', 'drifting', 'shifting' of 'blowing sands' en 'sables éolien' respektievelijk 'cover sands' en 'sables de couverture'.

b. morfogenetisch, op grond van syn- en postsedimentaire vormbepalende faktoren, zoals aard van het herkomstmateriaal, aard van de ondergrond wat sedimentopeenvolging betreft, aan- of afwezigheid van bodemprofielen, vegetatie-ontwikkeling en beïnvloeding door de mens,

c. morfochronologisch, op grond van de door datering van onderliggende pakketten bepaalde maximale ouderdom en de door datering van oppervlakteverschijnselen bepaalde minimale ouderdom.

Daarnaast zijn klassifikatiemogelijkheden van de eenheden van duingebieden denkbaar op grond van sedimentologische kriteria (sedimentaire textuur- en struktuurkenmerken en samenstelling) en evolutionistische kriteria (ontwikkelingsstadia van de duinvormen). In de meeste gevallen worden enkele groepen van indelingskriteria gekombineerd. Kuhlman (1960) geeft een overzicht van de terminologie van vormen ontstaan door windtransport en werkt een korrelatie uit van duinvormen, voornamelijk gebaseerd op studies van Bagnold (1954) en van Van Dieren (1934), met een door hem voorgestelde klassifikatie. Deze laatste indeling is gebaseerd op het in tijd en plaats wisselende evenwicht tussen erosie en sedimentatie in samenhang met de wijze van eolisch transport. Morfogenetische indelingen van kustduinen zijn onder meer te vinden in Van Dieren (1934), Van Houten (1939), Van Straaten (1961) en Depuydt (1972). Een recente morfografische klassifikatie van landduinen en aanverwante eolische terreinvormen is opgesteld door David (1977) in een uitgebreide, inventariserende studie over het voorkomen en de aard van landduinen in Canada. In deze studie worden de volgende kategorieën beschreven: erosieve vormen, individuele duinvormen, samengestelde duinvormen, duinruggen en zandakkumulaties zonder eolisch reliëf.

De omvangrijke literatuur over de genese van kustduinen, inklusief de vele aandacht die de terminologie van kustduinvormen heeft gekregen, staat in tegenstelling tot de geringe aandacht, die de terminologie van het landduinen- c.q. stuifzanden-reliëf heeft gehad. Op grond van het ontwikkelingsstadium heeft Van Dieren (1934) een genetische indeling van kustduinen opgesteld. Tot op heden is dit de meest volledige indeling. Spelen bij de opbouw van duinen planten een aktieve rol en maken de overstoven resten hiervan een kenmerkend bestanddeel uit van het duinzandpakket, dan wordt gesproken van organogene (of phytogene) duinen. Indien planten ontbreken bij de duinvorming, dan wordt gesproken van fysische (of psammogene) duinen. In tabel 2.1 worden in navolging van Van Dieren (1934) de fysische en organogene duinvormen vermeld, benevens een aantal min of meer syno-

A. Fysische duinvormen		
1. *Duni obsidionales passivi*	passieve hindernisduinen	
a. *Dunus verticosus*	wervelduin/trapduin/hellingduin/gordelduin	+
b. *Dunus lingulatus*	tongduin/streepduin/lensduin/lijzijde- of loefzijde-obstakelduin	+
c. *Dunus prismaticus*	stuifdijk/houtwalduin	++
2. *Duni migratores passivi*	passieve loopduinen	
a. *Duni undosi*	windribbels	++
b. *Duni falcati*	sikkelduin/barchaanduin/boogduin	o
1e. *Dunus falcatus litoralis*	strandbarchaanduin	
2e. *Dunus falcatus obsidionales*	sekundair barchaanduin/loopduin	o
3e. *Dunus falcatus linearis*	streepduin/langsduin/lengteduin/longitudinaalduin/sterduin/seifduin	o
3. *Duni abruptie passivi*	passieve erosieduinen	
a. *Dunus tabularis*	tafelduin/paddestoelduin	o
B. Organogene duinvormen		
1. *Duni obsidionales agressivi*	offensieve hindernisduinen grasduin/struikduin	
a. *Duni embryonales*	embryonaalduin/primairduin	
1e. *Dunus embryonalis fugax*	eenjarige embryonaalduin	
2e. *Dunus embryonalis fundatus*	meerjarige embryonaalduin/schildduin/kussenduin/koepelduin/ plateaurestduin	++
3e. *Dunus anticus*	zeereep/duinreep/dwarsduin/voorduin/binnenduinrand/transversaal-duin/(rand)walduin/(ring)walduin/kamduin	++
2. *Duni migratores agressivi*	offensieve loopduinen	
a. *Dunus erumpens*	windkuilduin/trogduin	+
b. *Dunus erumpens annularis*	ringduin	
c. *Dunus parabolicus*	paraboolduin(panne of duinpan)/ketelduin/komduin(of cuvette)/ hoefijzerduin	o
d. *Duni abrupti retracti*	aktief klifduin	
3. *Duni abrupti agressivi*	offensieve erosieduinen	
a. *Dunus abruptus evanescens*	passief klifduin	
b. *Dunus abruptus persistens*	getuigeduin/plateaurestduin/deflatieduin/tafelduin/reliktduin	++

Tabel 2.1 Naamgeving van fysische en organogene duinvormen (naar Van Dieren, 1934)
Voorkomend in Veluwse stuifzandgebieden: ++ = veelvuldig; + = weinig; o = sporadisch

Classification of physical (psammogenic) and phytogenic dune forms (after Van Dieren, 1934)
Occurring in drift sand areas in the Veluwe: ++ = frequently; + = not many; o = sporadically

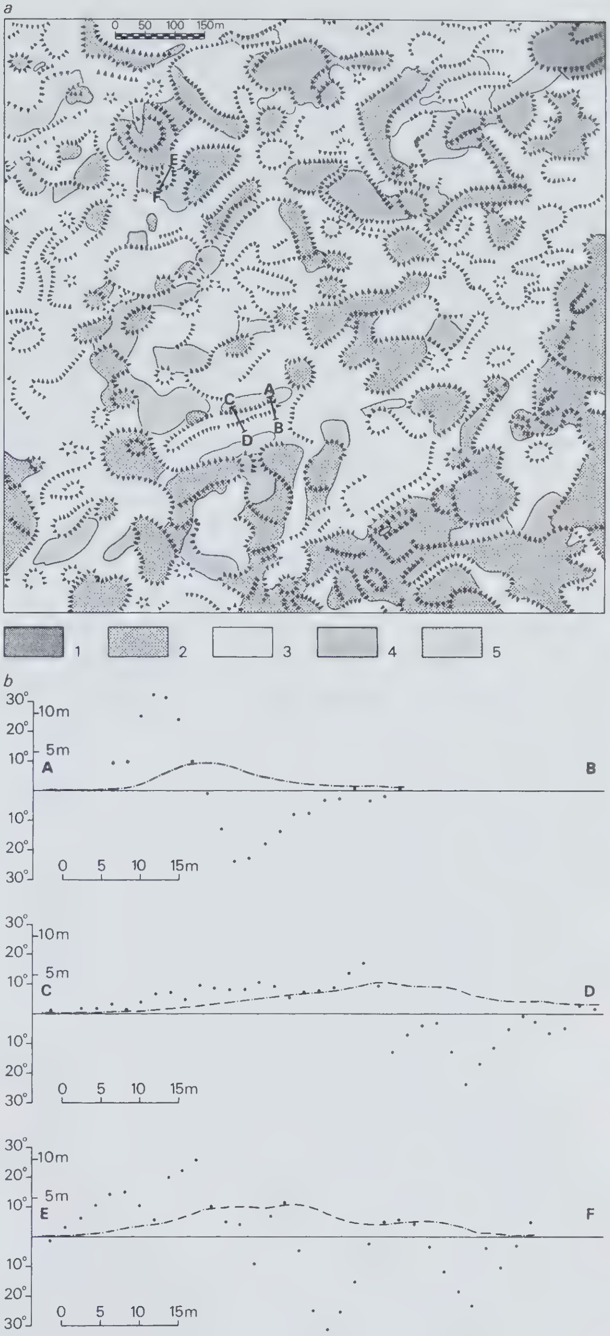
niem gebruikte benamingen. Hierbij is gebruik gemaakt van gegevens van Solger (1910), Van Houten (1939), Bagnold (1954), Schelling (1955), Kuhlman (1960), Noack (1966), Depuydt (1967) en Koster (1970b). Tevens wordt aangegeven in hoeverre de onderscheiden vormen herkenbaar zijn in stuifzandgebieden. Schelling (1955), die de indeling van kustduinvormen van Van Dieren (1934) in aangepaste vorm heeft overgenomen voor de beschrijving van duinvormen in stuifzandgebieden, geeft nadere informatie over het voorkomen van deze duinvormen.

Het onregelmatige, vaak chaotische stuifzandreliëf en het grotendeels ontbreken van duidelijk herkenbare en georiënteerde duinvormen, zoals die onderscheiden zijn in tabel 2.1, maken het vertalen van een indeling van kustduinvormen in een indeling van stuifzandvormen moeilijk en weinig zinvol. Een essentieel verschil tussen stuifzandvormen (met uitzondering van de rivierduinen) en kustduinen bestaat hierin, dat de stuifzanden geen eenzijdig herkomstgebied bezitten en dat er in de stuifzanden dus geen sprake is van ruimtelijk gescheiden, duidelijk herkenbare morfogenetische reeksen, zoals bij de Nederlandse kustduinen veelal wel het geval is. Volgens Ellenberg (1963) is het ook op floristische gronden gerechtvaardigd een scheiding in kust- en landduinen aan te brengen, die samengaat met een verschil in vormontwikkeling. Slechts enkele eenheden van het stuifzandreliëf kunnen beschreven worden met benamingen ontleend aan de door Van Dieren (1934) opgestelde indeling, terwijl verder om praktische redenen een indeling in fysische en organogene duinen niet mogelijk is.

2.2 Eenheden van het stuifzandreliëf en de stuifzandvormen

Stuifzandgebieden worden over het algemeen gekenmerkt door:

a. Een zeer onregelmatig reliëf, waarin vlakke, zwak golvende of reliëfrijke, in uitbreiding en grootte sterk wisselende erosiedelen, afwisselen met evenzo variabele akkumulatiedelen.
b. Het voorkomen van grote hoogteverschillen op korte afstand. De gemiddelde reliëfenergie variëert overwegend van 1,5-10 m; in uitzonderingsgevallen komen stuifzandgebieden voor met terreinvormen hoger dan 10 m boven de direkte omgeving en stuifzandgebieden met een gemiddelde reliëfenergie variërend van 0,5-1,5 m.
c. Het veelvuldig voorkomen van steile hellingen van stuifzandheuvels. De maximaal voorkomende hellingshoeken in stuifzandheuvels variëren overwegend van 15°-33°. In uitzonderingsgevallen worden overigens



Figuur 2.1
Voorbeeld van een typisch stuifzandreliëf in de Boswachterij Kootwijk
Example of a typical drift sand reliëf in the Forest Kootwijk
a - hoogteklassen/height classes: 1 - relatief hoogteverschil/relative height difference $>$10 m, 2 - 5-10 m, 3 - overwegend/predominantly 1,5-5 m, 4 - $<$1,5 m, overwegend/predominantly $<$0,5 m, 5 - depressies/depressions
A-B, C-D, E-F - lokaties dwarsprofielen/cross-profiles
b - met een pantometer gemeten dwarsprofielen door enige stuifzandheuvels; de stippen geven de hellingshoeken weer, telkens over een trajekt van 1,5 m
cross-profiles of some drift sand hills measured with a slope pantometer; each dot indicates the slope angle over a distance of 1,5 m

in door vegetatie vastgelegde stuifzandheuvels hellingshoeken tot 47° aangetroffen.

d. Het voorkomen van grote aantallen geïsoleerde stuifzandheuvels met een vaak min of meer cirkel- of ellipsvormige omtrek of met

een onregelmatige omtrek, en een min of meer symmetrische dwarsdoorsnede. Deze stuifzandheuvels kunnen zowel erosie- als akkumulatievormen als een kombinatie hiervan vertegenwoordigen. Bovendien kunnen deze stuifzandheuvels ook in grootte, hoogte en dwarsdoorsnede (afgezien van de symmetrie) sterk variëren.

e. Het voorkomen van langgerekte, lijnrechte of slingerende stuifzandruggen, die in hoogte sterk variëren en die vaak langs de randen van stuifzandgebieden zijn gelegen.

f. Het praktisch geheel ontbreken van duinvormen waarvan de vorm en de ligging een direkte indikatie geven van de transport- en afzettingsrichting.

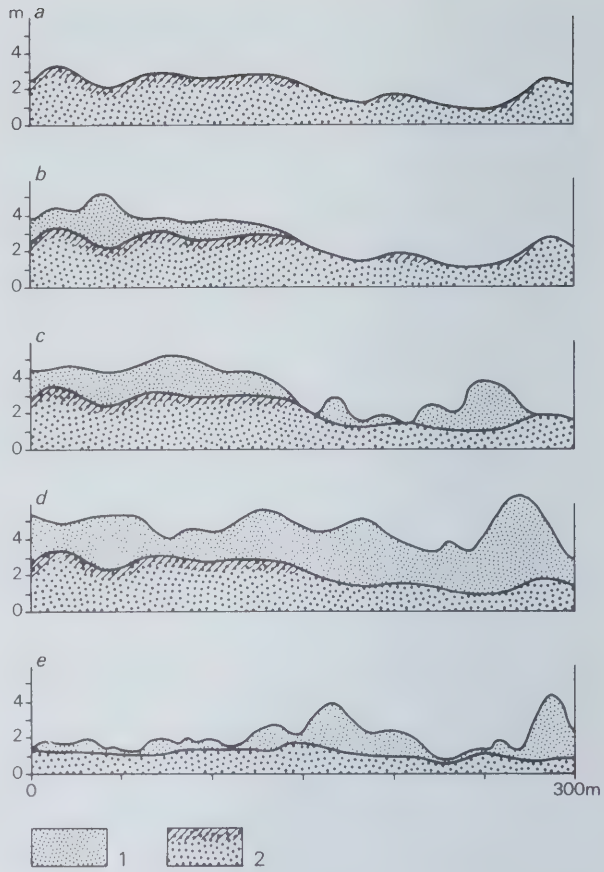
Een voorbeeld van het typische, wat vorm, hoogteverschillen en hellingshoeken betreft, chaotische stuifzandreliëf wordt geïllustreerd in figuur 2.1. In deze figuur, die een gebied omvat van 1 km² gelegen in de Boswachterij Kootwijk, blijkt reeds bij een indeling in enkele hoogteklassen een groot aantal kaartvlakken te ontstaan (in de orde van 75/km²) en komt tevens het chaotische patroon van terreinvormen tot uitdrukking. De voorkomende hellingshoeken worden geïllustreerd door enkele met een pantometer gemeten dwarsprofielen door stuifzandheuvels.* De 'schrapjes-signaturen' waardoor de terreinvormen zijn aangegeven, zijn overgenomen van de topografische kaart, schaal 1:10.000, kaartblad 32Fzuid.

Het grootste deel van het stuifzandareaal is door vegetatie vastgelegd, voornamelijk door bebossing sinds het einde van de vorige eeuw. Duinvorming vindt thans alleen nog plaats in het beperkte areaal van niet door de vegetatie vastgelegde, zogenaamde 'levende' of 'aktieve' stuifzanden.

Afhankelijk van het overwegend erosieve of akkumulatieve karakter kunnen de stuifzandgebieden ingedeeld worden in een aantal eenheden. Naast de aard van het stuifzandreliëf en de afzonderlijke duinvormen is hierbij de aan- of afwezigheid van begraven bodemprofielen, die het oorspronkelijke, voor de verstuiving aanwezige oppervlak aangeven, bepalend. Gekozen is voor een naamgeving van de eenheden in navolging van Hesselink (1926); voor omschrijvingen van een aantal begrippen kan tevens verwezen worden naar Schelling (1955, 1957) en Koster (1968, 1970a).

In figuur 2.2 zijn de in stuifzandgebieden voorkomende eenheden schematisch weergegeven. Uitgegaan is van een oorspronkelijk zwak golvend dekzandgebied met het daarin ontwikkelde bodemprofiel.

* Gegevens verzameld door P. Bruinsma.



Figuur 2.2.
Schematische weergave van de eenheden in stuifzandgebieden (voor verklaring zie tekst)
Schematic representation of the elements in drift sand areas (for explanation see text)
a - niet door verstuiving aangetast (dekzand)oppervlak en 'uitgestoven' terrein/original (cover sand) surface and 'blown-out' part, b - 'overgestoven' en 'uitgestoven' terreinen/'blown-over' and 'blown-out' parts, c - 'overgestoven' en 'opgestoven' terreinen/'blown-over' and 'blown-up' parts, d - 'ondergestoven' terrein/'blown-under' part, e - 'doorgestoven' terrein/'blown-through' part
1 - stuifzand/drift sand, 2 - dekzand (met bodemprofiel)/cover sand (with a soil profile)

sub a. Daar waar het oorspronkelijke oppervlak c.q. bodemprofiel door deflatie is verdwenen, komen *uitgestoven* terreinen voor. Kleine restanten van het bodemprofiel kunnen hierin lokaal de ligging van het oorspronkelijke oppervlak aangeven.

sub b. Daar waar het oorspronkelijke oppervlak niet aangetast is door deflatie en bedekt is door stuifzand, komen *overgestoven* terreinen voor.

sub c. Daar waar het oorspronkelijke oppervlak door deflatie is verdwenen en waar vervolgens lokaal stuifzand is afgezet op de uitgestoven laagten, komen *opgestoven* terreinen voor.

sub d. Indien zowel op het oorspronkelijke oppervlak als op de uitgestoven laagten zeer dikke stuifzandpakketten zijn afgezet, is scheiding van de overgestoven en

opgestoven terreinen niet meer mogelijk. In dit geval wordt wel gesproken van *ondergestoven* terreinen (Koster, 1970a).

sub e. Indien de verstuiving zover is voortgeschreden, dat nergens meer overgestoven delen aanwezig zijn en ook praktisch geen uitgestoven laagten aan de oppervlakte meer voorkomen, spreekt men van *doorgestoven* terreinen.

Deze indeling heeft het voordeel dat inzicht verschaft wordt in de ontstaanswijze van het stuifzandreliëf en de onderdelen daarvan en dat reeds ingeburgerde begrippen gebruikt worden. Een praktisch nadeel daarentegen is, dat kartering volgens deze indeling slechts mogelijk is door onderzoek van de sedimentopeenvolging. Vandaar dat deze indeling bij de geomorfologische studiekarteringen van stuifzandgebieden (hoofdstuk 11) niet gevolgd is.

Bij deze karteringen is gebruik gemaakt van vormtypen in samenhang met de aard van het materiaal. Afhankelijk van het relatieve hoogteverschil binnen de kaarteenheden, voorzover die vanuit één waarnemingspunt te overzien zijn, de vastlegging door vegetatie en de aard van het materiaal zijn de volgende karteringseenheden onderscheiden: reliëfrijk aktief stuifzandgebied (hoogteverschil overwegend 1,5-10 m), reliëfrijk stuifzand-duinkompleks (h = 1,5-10 m) al of niet op bodemprofiel, reliëfarme stuifzand-welving (h < 1,5 m) of -vlakte (h < 0,5 m) overwegend op bodemprofiel, reliëfarme stuifzand-welving (h < 1,5 m) of -vlakte (h < 0,5 m) overwegend op uitgestoven laagte en een overwegend vlakke uitgestoven laagte (h < 0,5 m) met lokaal opgestoven stuifzandheuvels.

Daarnaast zijn geïsoleerde stuifzandruggen overwegend op bodemprofiel (h = 1,5-10 m en h > 10 m), geïsoleerde stuifzandheuvels met daarin een bodemprofiel (plateaurestduinen, h = 1,5-10 m), geïsoleerde stuifzandheuvels op een bodemprofiel (overgestoven delen, h = 1,5-10 m) en geïsoleerde stuifzandheuvels op een uitgestoven laagte (opgestoven delen, h = 1,5-10 m) onderscheiden. De door reliëfinversie gevormde plateaurestduinen, behorende tot de geïsoleerde stuifzandheuvels, zijn het resultaat van een kombinatie van erosie en akkumulatie. Zij bezitten een plateauvormige dwarsdoorsnede. Deze forten of *plateaurestduinen* zijn enkele meters hoge, plateauvormige, door steile hellingen begrensde stuifzandheuvels, die alzijdig door een uitgestoven laagte omgeven worden en die een min of meer komvormig verlopend, boven het niveau van de uitgestoven laagte liggend, overstoven bodemprofiel bevatten. De bovenzijde van deze heuvels is vaak komvormig, tengevolge van de vorming van, in dwarsdoorsnede meestal symmetrische, ringvormige stuifzandruggen *(ringwalduinen)* aan de randen van de plateaurestduinen (Koster, 1970a).

De opgestoven en overgestoven stuifzandheuvels zijn herkenbaar aan het wel, respektievelijk niet uitgestoven karakter van de direkte omgeving. De meeste van deze stuifzandheuvels hebben een dwarsdoorsnede, die lijkt op een kurve van een zwak gepiekte 'normale verdeling' (buigpuntsafstand: lengte van de symmetrie-as = > ca 2) en om die reden wordt voorgesteld deze stuifzandheuvels te benoemen als *normaalduinen.* Tot één van de meest opvallende duintypen in de stuifzandgebieden behoren de randwallen (of *randwalduinen*). Dit zijn langgerekte, veelal hoge stuifzandruggen met een flauw hellende (overwegend concave) loefzijde en een steile (overwegend convexe) lijzijde, die aan de randen van stuifzandgebieden zijn gelegen (Koster, 1968) Min of meer analoge vormen van kleiner formaat zijn de rechtlijnig verlopende stuifzandruggen langs en rondom akkerpercelen, gevormd in smalle doorlatende hindernissen *(houtwalduinen). Stuifdijken* zijn, in of aan de rand van stuifzandgebieden, voorkomende, rechtlijnig verlopende, in dwarsdoorsnede overwegend symmetrische of asymmetrische stuifzandruggen, gevormd in kunstmatige, ondoorlatende respektievelijk doorlatende hindernissen (b.v. rijshout). Langgerekte, in lengtedoorsnede asymmetrische, *tong- en streepvormige stuifzandruggen* komen in kleine aantallen voor in aktieve en door vegetatie vastgelegde stuifzandgebieden (Van Embden & Verwey, 1968). Indien deze longitudinale stuifzandruggen een flauw oplopende loefzijde en een steilere lijzijde bezitten, is er sprake van *streepduinen.* In het omgekeerde geval zijn het *tongduinen.* Deze tongduinen komen voor in de windschaduw van geïsoleerde, min of meer cirkel- of ellipsvormige stuifzandheuvels.

3.1 Stuifzanden in Nederland

Zandige windafzettingen nemen grote oppervlakken in beslag. Voor de verbreiding van de gebieden met een duinreliëf kan verwezen worden naar de Geomorfologische kaart van Nederland, schaal 1:600.000 (1974) en voor de, voor een deel hiermee samenvallende verbreiding van de stuifzandgronden kan verwezen worden naar de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:200.000 (1965). Volgens de toelichting bij deze laatste kaart (Stiboka, 1965a) worden de volgende oppervlakken ingenomen door kalkarme, hoge, humusarme, niet lemige, soms zwak lemige, arme en zeer arme zandgronden; deze kaarteenheid (124) benadert het beste de voorkomende stuifzanden, zoals deze gedefinieerd zijn in het voorgaande hoofdstuk.

	opp in km^2	% opp
Friesland	7	0,2
Drente	41	1,5
Overijssel	76	2,2
Gelderland	301	5,9
Utrecht	69	4,9
Noord-Holland	18	0,6
Noord-Brabant	179	3,6
Limburg	95	4,2
Nederland	786	2,2

Ter vergelijking hiermee worden de oppervlakken vermeld, die ingenomen worden door rivierduinen en kustduinen. Het deel van de kaarteenheden 121 en 122 (kalkarme, hoge, niet lemige, soms zwak lemige, grofzandige podsolgronden, repektievelijk kalkarme, hoge, lemige, soms niet lemige, fijnzandige podsolgronden), dat globaal overeenkomt met het areaal aan, in Limburg en Gelderland voorkomende rivierduinen bedraagt ca 160 km^2 = 0,4% van het Nederlandse oppervlak. De kaarteenheden 100 en 130 (kalkhoudende en kalkrijke, hoge, humusarme, niet lemige, fijne zandgronden, respektievelijk associatie kalkhoudende en kalkarme, hoge, humusarme, niet lemige, fijne zandgronden) komen overeen met het areaal aan Jonge (grotendeels reliëfrijke) kustduinen ten zuiden, respektievelijk ten noorden van Bergen; het areaal bedraagt ca 380 km^2 = 1,1% van het Nederlandse oppervlak. Volgens opgave van De Rijkswaterstaat (1977) bedraagt het oppervlak dat de kustduinen innemen 471,7 km^2. Dit oppervlak is als volgt langs de Nederlandse kust verdeeld: 49,8 km^2 op de Zeeuwse en Zuidhollandse eilanden, 226,8 km^2 in de strook van Hoek van Holland tot Den Helder en 195,1 km^2 op de Waddeneilanden. Een gering deel van kaarteenheid 116 (kalkarme, hoge, zeer arme, niet lemige, fijnzandige podsolgronden) komt overeen met het areaal aan landduinen. De stuifzanden op de Veluwe zijn zonder uitzondering kalkloos.

De verbreiding van stuif- en dekzanden is weergegeven in figuur 3.1. De stuifzanden komen voor binnen de dekzandgebieden. De komplexen van stuifzanden en rivierduinen, voornamelijk langs de Maas en de Oude IJssel voorkomend, zijn apart weergegeven. De loessgrens in België valt samen met de zuidelijke begrenzing van het dekzandareaal. De voor het grootste deel reliëfrijke stuifzandgebieden komen in Nederland voor verspreid op het Drentse Plateau, ter weerszijden van de Overijsselse Vecht, langs de Dinkel, verspreid in Salland en Twente, op de Veluwe, Utrechtse Heuvelrug en Het Gooi, en verspreid in Noord-Brabant en Limburg. Per provincie worden de lokaties opgesomd, waar stuifzanden voorkomen inklusief de lokaties waar stuifzanden voorkomen in kombinatie met duinkomplexen (rivier- of landduinen) met daarin (aan de oppervlakte) ontwikkelde podsolprofielen. Tevens worden de nummers van de desbetreffende topografische kaarten (schaal 1:25.000) vermeld, waarop de stuifzanden door reliëfsignaturen herkenbaar zijn.

Groningen
- de Wedderbergen ten zuiden van Winschoten (13 A)

Friesland
- de Duinen nabij Bakkeveen, nabij Waskemeer; in de Staatsbossen en De Kale Duinen of het Aekingerzand nabij Appelscha, nabij de Schapenpoel (11 F en H)
- nabij Oudemirdum (15 E)

Drente
- de Schansduinen nabij Haulerwijk (11 F)
- de Noorder- en Zuiderduinen nabij Roden, de Langeloër en Oosterse duinen nabij Norg; nabij Zeegse, de Kerke Duinen en Appelbergen langs de Drentse Aa; in het Ballooër veld nabij Rolde; nabij Annen en Zuidlaren; het Drouwener Zand (12 A, B, D, E, G en H)
- de Kale Duinen, nabij De Stoevert, Het Wapser Zand, nabij de Berkenheuvel, in Boschoord en het Diever Zand; nabij Schier, het Holtingerzand, het Uffelterzand, het Wester- en Oosterzand nabij Uffelte (16 F, G en H)
- nabij Eikenhorst, Alberta, Veldhuizen, de Voorste en Achterste Zandduinen, in het Oosterveld, het Zuid en Noord Hijkerzand, in het Laaghaler Veld, het Lheeder Zand, het Lheebroeker Zand en het Terhorster

Figuur 3.1
De verbreiding van zandige windafzettingen in Nederland en België (voornamelijk naar gegevens van Maréchal & Maarleveld, 1955; Müller, 1959 en Zagwijn & Van Staalduinen, 1975)
The areal distribution of eolian sand deposits in The Netherlands and Belgium (adapted from Maréchal & Maarleveld, 1955; Müller, 1959 and Zagwijn & Van Staalduinen, 1975)
1 - stuifzanden/drift sands, 2 - dekzanden, kontinue bedekking/cover sands, continuous, 3 - dekzanden, diskontinue bedekking/cover sands, discontinuous, 4 - komplex van stuifzanden en rivierduinen/complex of drift sands and river dunes, 5 - begrenzing loess- en zandige loessgebied/boundary of loess and sandy loess

Zand; het Witte en Groote Zand, het Heuvinger Zand en in het Zwiggelterveld; in het Echtener Veld en de Anser dennen, nabij Anholt en in het Kralooër Veld; nabij Stuifzand, het Hullenzand, het Mantingerzand en het Balingerzand; het Orvelterzand; het Odoorner Zand en nabij Ees; het Mepperzand en het Sleenerzand; het Ermerzand, in de Emmer dennen, het Valtherzand (17 A, B, C, D, E, F, G en H)

- nabij Rabbinge langs de Reest, in Klein Zwitserland nabij Zuidwolde (22 A)

Overijssel

- de Witte Bergen langs de Reest en De Vier Bergen nabij Staphorst; in het Rechterense Veld langs de Vecht (21 F en H)
- nabij Balkbrug langs de Reest; nabij Ommen langs de Vecht, de Junnerbelten, het Beerser Zand, het Diffeler Zand en de Rheezerbelten langs de Vecht (22 A, C en D)

- nabij Heino, de Stoevinghe, het Rechterense Veld; nabij Diepenveen, langs de IJssel; nabij Heeten, in het Gooierveld en de Zandbelt (27 F, G en H)
- ten westen van de Hellendoornse en Archemerberg; De Zandstuwe nabij Den Ham; nabij Nieuw-Heeten; in het Elsener Veld en nabij Rijssen (28 A, B, C en D)
- het Lutterzand langs de Dinkel (29 C)
- het Buurserzand en de Ronde Bulten; 't Zand en de Smallenberg langs de Buurserbeek (34 F en G)

Gelderland

- nabij Driedorp, Voorthuizen en in de Appelse Heide (32 E)
- langs de IJssel; nabij Gorssel en Harfsen (33 E en F)
- in het Ampsense Veld, nabij Laren; nabij Ruurlo en Het Zand nabij Zelhem (34 A en C)
- ten oosten van de Oude IJssel; nabij Stokkum (40 F en H)
- De Vennebulten nabij Aalten (41 B)
- nabij Bergharen; in de Hatertse vennen en in het Heumense Bos (39 H en 46 A)
- de stuifzanden op de Veluwe (zie paragraaf 3.2)

Utrecht

- nabij Baarn en Lage Vuursche, de Lange Duinen nabij Soest; de Korte Duinen nabij Amersfoort; de Biltse Duinen, nabij Bilthoven, Zeist, Driebergen en Doorn; de Treekerduinen en de Binnenduinen, in het Leersumse Veld (32 A, B, C en D)
- nabij Leersum; nabij Nieuw-Amerongen (39 B en E)

Noord-Holland

- nabij Huizen (26 C)
- nabij Hilversum op de Zuiderheide (31 F)
- de Witte Bergen en nabij Laren (32 A)

Noord-Brabant

- op de Vraggelse Heide en nabij Dorst; nabij Dongen; de Loonse en Drunense Duinen, het Lepelarezand (44 D, G en H)
- op de Rosmalense en Nulandse Heide; op de Vughtse Heide; langs de Dommel bij Boxtel; nabij Oss; de Reekse Heide en nabij Grote Koolwijk; de Bedafse Bergen nabij Nistelrode; De Berg en in de Trentse Bossen nabij Uden, nabij Logt en Odiliapeel (45 B, C, D, E, F, G en H)
- nabij Gassel; De Bergen en de Ullingense Bergen nabij St. Anthonis; nabij Boxmeer (46 A, C en D)
- zone van Bergen op Zoom tot Putte: op de Zuidgeester Heide, de Borgvlietse Duinen, op de Woensdrechtse Heide, de Hofstede Duinen, de Staartse Duinen, de Mei Duinen, de Meerse Duinen, de Kriekelareduinen, de Hazen Duinen en de Bieduinen; op de Ruphense en Langendijkse Heide (49 B + D + E + G + 55 E, 49 F)
- nabij Rijsbergen; nabij Breda; nabij Zundert; nabij Rijen, de Alphense Bergen en Het Zand; langs de Ley, de Witte Duinen en nabij Tilburg; nabij Baarle-Nassau; op de Turnhoutse Heide (50 A, B, C, E, F, G en H)
- op de Oisterwijkse en Kampinase Heide; op de Oirschotse en Nieuwe Heide nabij Best; op de Oostelbeerse Heide; nabij Veldhoven; nabij Son en Lieshout; nabij Helmond, Bakel en Handel; op de Groote Heide nabij Eindhoven, op de Strabrechtse Heide en Molenheide nabij Geldrop, nabij Nuenen; de Gebergten en op de Herselse Heide, de Oostappense Heide, de Brouwhuisse Heide, de Lieropse Heide en de Somerense Heide (51 A, B, C, D, E, F, G en H)
- de Stippelberg en nabij Milheeze; de Overloonse Duinen; nabij Deurne, Asten en Neerkant (52 A, B en C)
- de Stevensbergen, nabij Luyksgestel; nabij Valkenswaard; in 't Leenderbos, op de Groote, Gastelse, Dijkse en Zevenhuizense Heide (57 A, B en E)

Limburg

- op de Genneper en Zwarte Heide, nabij Afferden; op de Heukelomse en Gemeente Heide (46 D en G)
- de Boshuizer Bergen, nabij Venray en Castenray; nabij Kronenberg en in de Schadijkse Bossen nabij America; op de Hooge, Tienraijse en Swolgerder Heide, op de Berger, Wellse en Looier Heide; nabij Arcen; de Reulsberg nabij Horst, de Blerickse Bergen, de Zaarder heiken, nabij Lottum en Velden; op de Lommerheide en de Schandelose Heide (52 B, D, E, F, G en H)
- de Boksenberg en de Weerter- en Budelerbergen; op de Loozerheide, de Tungeler wallen (57 F en H)
- de Asbroekerheide; in den Berg nabij Helden en de Ophovense Zandberg; de Beegder Heide en nabij Haele; nabij Grathem; de Kesselse Bergen en nabij Reuver; nabij Herkenbos en Maalbroek; nabij Montfort en Posterholt (58 A, B, C, D, E en G en 60 B)

Wat de gebruikte toponiemen voor de stuifzandterreinen betreft valt op dat in Friesland, noordelijk Drente, Utrecht en Noord-Brabant in de meeste gevallen gesproken wordt van 'Duinen'. In Noord-Brabant komt ook de benaming 'Bergen' veel voor, evenals in Limburg en Overijssel. In Overijssel worden ook de namen 'belten' of 'Bulten' gebruikt. In zuidelijk Drente en op de Veluwe worden deze terreinen daarentegen meestal benoemd als 'Zanden'. Toponie-

men, die verwant zijn met het begrip stuifzand, komen overigens op relatief weinig plaatsen in Nederland voor (Van der Aa, 1847). Moerman (1956) vermeldt het woorddeel 'stuive', dat in het Oostnederlands ook wel 'stoeve', in het Middelnederlands 'stuve' of 'stuyve' en in het Zuidnederlands in enkele gevallen 'stieve' luidt. Namen met het woorddeel stuive, die thans nog op de topografische kaart (schaal 1:25.000) aangegeven staan, komen op de volgende lokaties voor: Stuifzand – plaatsnaam nabij Hoogeveen (Dr.); Stuivezand – plaatsnaam in de gemeente Oldebroek (Gld.); Stuivezand – plaatsnaam nabij Zundert (N.Br.); Stuivezand – plaatsnaam nabij Oosterhout (N.Br.); de Zandstuwe – bosnaam tussen Den Ham en Vroomshoop (Ov.); De Stoevinghe – bosnaam nabij Heino, gemeente Dalfsen (Ov.); De Stoevert – bosnaam ten noorden van Diever in de gemeente Ooststellingwerf (Fr.); Stoevelaar, Stoevelaars es, Stoevelaars hoek en Stoevelaarsbroek in de omgeving van Markelo (Ov.).

3.2 Stuifzanden op de Veluwe

Allereerst wordt de verbreiding van de Veluwse stuifzanden besproken en vervolgens wordt ingegaan op de eventuele relatie met de aard van de ondergrond en het oorspronkelijke reliëf. De stuifzanden op de Veluwe beslaan ca 230 km^2, dit is ongeveer 1/5 van de oppervlakte van de Veluwe en ca 4,5% van het oppervlak van de provincie Gelderland. Thans is nog slechts $<$ 5% van de Veluwse stuifzanden aktief, d.w.z. niet door vegetatie vastgelegd (volgens de topografische kaart 1:25.000, uitgave 1962-1966). Aktieve stuifzanden van enige omvang komen volgens opgaven van Schimmel (1975) betreffende de huidige uitbreiding en volgens Hesselink (1926) betreffende de uitbreiding in de tweede helft van de vorige eeuw als volgt voor: Rozendaalse (15 respektievelijk 130 ha), Wekeromse (35, 340 ha), Mosselse (35, 725 ha), Stroese (25, 760 ha), Harskampse (340, 1090 ha), Kootwijkse (290, 1800 ha), Hulshorstse (130, 380 ha), en Beekhuizer Zand (75, 240 ha). Door bestudering van de oudste topografische kaarten, waarop de stuifzanden nauwkeurig en goed leesbaar staan aangegeven (uitgave 1878-1888), blijkt dat het oppervlak dat aktieve stuifzanden destijds innamen, ongeveer de helft van het totale Veluwse stuifzandareaal is. Met name de Noord- en Zuidoost-Veluwse stuifzanden waren toen al voor een belangrijk deel door vegetatie vastgelegd. Volgens een opgave van W.C.M. Staring in 1856 bestond destijds nog 105 km^2 uit aktief stuifzand. Schimmel (1975) is van mening, dat de maximale uitbreiding van aktieve stuifzanden op de Veluwe in de 19e eeuw zelfs 145 km^2 bedroeg.

De omgrenzing van de stuifzanden (veldopname 1:25.000) staat weergegeven in appendix 2. Op deze kaart staan de overwegend reliëfrijke, door een zwakke of geen profielontwikkeling gekenmerkte stuifzanden (duinvaaggronden) aangegeven. Inbegrepen zijn tevens uitgestoven laagten en vlakke stuifzandgebieden waarvan door datering is komen vast te staan dat ze een jong-holocene ouderdom bezitten. Reliëfrijke duingebieden, veelal op de stuwwal van de oostelijke Veluwe voorkomend, die een sterk ontwikkeld podsolprofiel aan de oppervlakte hebben, en waarvan een laat-glaciale of vroeg-holocene ouderdom waarschijnlijk is, zijn weggelaten. De lengteduinen, ook wel 'pseudo-osar' genoemd, zijn evenmin aangegeven, behalve wanneer ze sekundair verstoven zijn. Het hoogtelijnenpatroon binnen de Veluwe is weergegeven om vergelijking met de ligging van de stuifzandterreinen mogelijk te maken.

Het Veluwse stuifzandareaal kan in drie gebieden worden onderverdeeld: de Noord-Veluwse, de Midden- en Zuidwest-Veluwse en de Oost- en Zuidoost-Veluwse stuifzanden.

a. De 30 km lange en 1-4 km brede stuifzandzone op de Noord-Veluwe ligt op dekzand en al of niet verspoelde fluvio-glaciale en preglaciale afzettingen langs de noordwestelijke flank van de stuwwal van de Woldberg en in de vallei van de Leuvenumse Beek op een hoogte van 5-20 m + N.A.P. In deze zone komen de volgende stuifzanden voor:
- het Beekhuizer en Hulshorstse Zand, op de Hulshorstse Heide en in het Leuvenumse Bos, nabij Ermelo en op het Leuvenumse Veld (26 H)
- De Zoom en de Zanden tussen Nunspeet en 't Harde; op de Oldebroekse Heide, in de zone 't Harde - Mullegen - 't Loo - Wezep; in het Belvederebos, het Hendriksbos, het Willemsbos en het Zandenbos nabij Nunspeet, in het Provinciebos en op de Vierhoutense Heide (27 A, B en C).

b. Een vijftal WZW-ONO georiënteerde stuifzandzones komen op de Midden-Veluwe voor, globaal begrensd door de Gelderse Vallei en de stuwwallen van Garderen, Kootwijk, de oostelijke Veluwe en Oud-Reemst. Deze stuifzanden liggen op dekzand, fluvioglaciale afzettingen en grotendeels verspoelde preglaciale afzettingen op een hoogte van 25-40 m + N.A.P. In dit gebied komen de volgende stuifzanden voor:
- op het Garderense Veld, het Stroese Zand, de Stroese Bergen en in de Boswachterij Kootwijk; op de Doesburger en Eder Heide, in het Zandbos, het Kreelse, Roekelse en Wekeromse Zand (32 F en H)
- in het aangrenzende deel van de Gelderse

Vallei komen enige kleine geïsoleerde stuifzandterreinen voor nabij Voorthuizen en Ruimzicht (32 F)

- in het Meerveldse Bos, op het Uddeler Veld, in het Broekeldbos, de Kootwijkerduinen, de Vroome Bergen, het Kootwijkse Zand en het Harskampse Zand; het Otterlose Zand, het Koeverzand, het Pampelse Zand, het Deelense Zand, het Oud-Reemster Zand, in het Otterlose Bos, het Mosselse Zand, in het Zandbos, op het Nieuw-Reemster Veld (33 A en C)
- in de Sijsselt en op de Ginkelse Heide (39 F)
- het Ginkelse Zand (40 A)

c. Verspreid op de oostelijke en zuidoostelijke Veluwe komt een aantal langgerekte, veelal ZW-NO georiënteerde stuifzandgebieden voor op de stuwwallen van de oostelijke Veluwe en Arnhem. Deze stuifzanden liggen op dekzand en gestuwd preglaciaal materiaal op een hoogte van 65-90 m + N.A.P. In dit gebied komen de volgende stuifzanden voor:

- op het Wieselse Veld (27 D)
- in het Ugchelse Bos, de Aardmansberg en de Torenberg; in het Spelderholt; de Waterberg en de Miggelenberg nabij Hoenderlo; de Schalterberg, de Schansenberg, de Wispelberg, de Ramenberg, in het Deelerwoud, de Trapjesberg, de Spitsberg, in de Imbos, het Worth-Rhedense Zand, in het Hupkesbos; nabij Eerbeek en Laag-Soeren (33 A, B, C, D en G)
- in het Stadsbos, op het Roozendaalse Veld en het Roozendaalse Zand (40 B)

De hier besproken driedeling is van belang bij de keuze van de gebieden waar studiekarteringen verricht zijn, en waarvan de morfogenese besproken wordt in hoofdstuk 11.

Voor gegevens over de statistiek van de zandverstuivingen in de laatste eeuwen, de veranderingen in het stuifzandareaal en over in onbruik geraakte benamingen van Veluwse stuifzanden wordt verwezen naar het Dossier Stuifzanden, Staten van het Kwartier Veluwe, Oud Archief Arnhem, nr. 5440, Hesselink (1926) en Brandt-Boomstra & Meyman (1970, 1971).

De verspreiding van de stuifzandgebieden op de Midden-Veluwe is opmerkelijk. De hier voorkomende WZW-ONO georiënteerde, 1,5-3 km brede en 7-9 km lange stuifzandgebieden worden van elkaar gescheiden door relatief smalle zones, aan of nabij de oppervlakte bestaande uit niet verstoven, jongere en oudere dekzanden en grindhoudende afzettingen. Van noord naar zuid gaande komen voor het Stroese, Kootwijkse, Harskampse, Otterlose en Oud-Reemster- en Deelense Zand. Volgens Stoutjesdijk (1959) zijn de stuifzanden gebonden aan de oorspronkelijk zwak golvende, vroeger met heidevelden begroeide dekzanden met een daarin sterk ontwikkeld podsolprofiel. Het ondoorlatende profiel zou de verstuiving in de hand gewerkt hebben, omdat op bepaalde plaatsen het langs de oppervlakte afstromende water het profiel kon doorsnijden met geulen, die als aangrijpingspunten voor winderosie konden dienen. Stoutjesdijk (1959) volgt hierbij grotendeels de opvatting van Hesselink (1920, 1926). Deze was van mening dat het oppervlak in de smalle dekzandzones tussen de Midden-Veluwse stuifzandgebieden hoger ligt dan het oorspronkelijke oppervlak in de stuifzandgebieden daartussen. Zo zou het Kootwijkse Zand ontwikkeld zijn in een iets lager gelegen geulvormig terreingedeelte, waar door afstromend regenwater het ondoorlatende bodemprofiel geërodeerd werd. De extremere bodemvorming (podsolisatie) in de gebieden die thans door stuifzand worden ingenomen, dan die in de smalle dekzandzones, zou hierbij tevens van invloed zijn geweest.

Om de eventuele samenhang tussen de ligging van de Midden-Veluwse stuifzanden en het oorspronkelijke reliëf te kunnen nagaan is figuur 3.2 vervaardigd. Voor het oostelijke deel zijn de hoogtelijnen overgenomen van de topografische kaart (1:25.000, 32 F en H); voor het westelijke deel zijn de hoogtelijnen getekend op basis van de voor dit deel van de Gelderse Vallei beschikbare hoogtepuntenkaarten (1:10.000, 33 A Zuid en 33 C Noord). Aan de oostzijde worden de stuifzandterreinen begrensd door de stuwwal van de oostelijke Veluwe, op een hoogte van 40 à 45 m. Deze stuwwalflank is versneden door trechtervormige en kleinere, relatief diep ingesneden, droge dalen, waarvan de ligging van enkele min of meer overeenkomt met het oostelijke uiteinde van de smalle dekzandzones tussen het Stroese, Kootwijkse, Harskampse en Otterlose Zand. Aan de westzijde worden de stuifzandterreinen begrensd door de zwak naar het westen afhellende dekzandterreinen in het aangrenzende deel van de Gelderse Vallei, op een hoogte van 20 à 25 m. Uit het gedetailleerde hoogtelijnenpatroon en uit het huidige afwateringspatroon blijkt, dat de smalle dekzandzones globaal aansluiten op natuurlijke afwateringsrichtingen in de Gelderse Vallei. De zone Assel-Kootwijkse Veld sluit aan op de Grote Beek; de zone Hoog—Buurlose Heide — Noorderheide sluit aan op de Kleine Valkse Beek; de zone Dabbelo-Zuiderheide sluit min of meer aan op de Laarbeek; de in figuur 3.2 ten dele zichtbare, voor een deel verstoven zone Hoenderlo-De Pampel-Otterlose Bos tenslotte, sluit min of meer aan op de Valkse Beek.

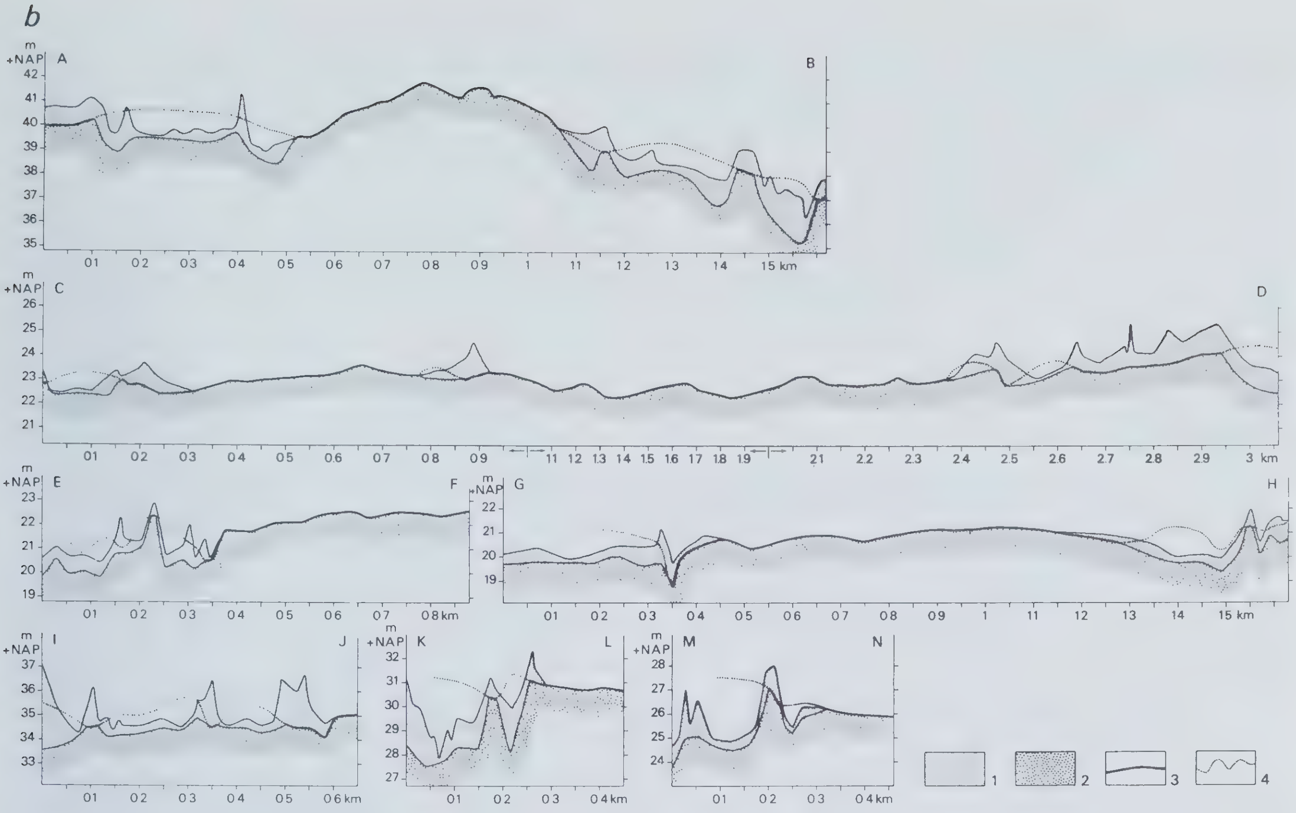
Van de zones tussen het Stroese, Kootwijkse en Harskampse Zand is een aantal dwarsprofielen vervaardigd met een totale lengte van

a

Figuur 3.2

X lokatie figuur / location figure 3.3

bijna 9 km (figuur 3.2). Het oppervlak is door waterpassing nauwkeurig ingemeten, terwijl de ligging van het oorspronkelijke dekzandoppervlak door boringen bepaald of gerekonstrueerd is. In die gevallen waar het door stuifzand begraven bodemprofiel in dekzand in zijn geheel bewaard is gebleven, kon de ligging van het oorspronkelijke oppervlak nauwkeurig worden bepaald. In die gevallen waar uitstuiving van het dekzand heeft plaatsgevonden, voorafgaande aan de stuifzandakkumulatie, is de globale ligging van het oorspronkelijke oppervlak gerekonstrueerd op grond van de waargenomen verschijnselen in het boorprofiel (restanten van het bodemprofiel, ijzerinfiltratiebandjes, deflatielaagjes) en de algemene ligging in het terrein. De doorsnede A-B wijst uit dat het niet verstoven terrein alhier bestaat uit grindhoudend materiaal in de vorm van een brede rugvormige terreinverheffing. Het hoogtelijnenpatroon in dit deel van figuur 3.2 wordt tevens bepaald door ter plaatse voorkomende W-O georiënteerde lengteduinen (pseudo-osar, de Regelbergen). De vervaardigde dwarsprofielen C-D, E-F en G-H wijzen uit, dat het oorspronkelijke dekzandoppervlak aan de rand het Stroese Zand en aan de rand van het Kootwijkse Zand globaal op dezelfde hoogte gelegen is als het dekzandoppervlak in de niet verstoven zone van het Kootwijkse Veld tussen de beide stuifzandterreinen. In het zwak naar het westen afhellende, met heide begroeide dekzandoppervlak in het Kootwijkse Veld komen enkele smalle, geulvormige laagten voor, die te vervolgen zijn in de richting van de Grote Beek (vroeger Stroeërbeek of Houtbeek genaamd; Moerman, 1934). Figuur 3.3 illustreert een soortgelijke smalle geulvormige laagte direkt naast de niet verstoven dekzandzone bij Dabbelo. Ook de ver-



Figuur 3.2

a - De verbreiding van West- en Midden-Veluwse stuifzanden in relatie tot het hoogtelijnenpatroon; de pijltjes geven de richting aan van droge dalen in de westflank van de stuwwal van de oostelijke Veluwe en van zwak ontwikkelde geulvormige laagten in het aan de Veluwe grenzende deel van de Gelderse Vallei
The areal distribution of drift sands of the western and central Veluwe in relation to the pattern of contour lines; the arrows indicate the direction of dry valleys in the western flank of the ice-pushed ridge of the eastern Veluwe and of gently sloping valleys in the adjoining part of the Gelderse Vallei

b - Ingemeten dwarsprofielen door de relatief smalle, niet verstoven zones tussen het Harskampse, Kootwijkse en Stroese Zand en rekonstrukties van het oorspronkelijke oppervlak van het (dekzand)reliëf in de stuifzandgebieden
Levelled cross-profiles of the relatively narrow zones in between the Harskampse, Kootwijkse and Stroese Zand and reconstructions of the original (cover sand) surface in the drift sand areas
1 - stuifzand/drift sand, 2 - dekzand of grindhoudende afzettingen/cover sand or gravelly deposits, 3 - niet door verstuiving aangetast (oorspronkelijk) oppervlak/(original) surface not influenced by deflation, 4 - verondersteld oorspronkelijk oppervlak (dekzand)reliëf/supposed original (cover sand) surface

vaardigde dwarsdoorsneden I-J, K-L en M-N aan de zuidelijke begrenzing van het Kootwijkse Zand tonen aan, dat er geen sprake is van een systematisch verschil in hoogteligging tussen het oppervlak van de smalle, niet verstoven zones en het oorspronkelijke oppervlak in de stuifzandgebieden. De mening van Hesselink (1920, 1926), dat het oorspronkelijke oppervlak in de huidige stuifzandgebieden als geheel lager lag dan het oppervlak van de tussenliggende niet verstoven zones, wordt door dit onderzoek niet bevestigd. De door hem getoonde, ZO-NW georiënteerde dwarsprofielen door het Kootwijkse Zand rechtvaardigen zijn konklusie ook niet.

De gegevens van het hoogtelijnenpatroon en de dwarsdoorsneden geven inderdaad aanwijzingen voor het lokaal optreden van oppervlakkige afstroming van water vanaf de stuwwalflank in de richting van de laagten in de Gelderse Vallei, maar dit heeft zowel in de (huidige) stuifzandgebieden als in de tussengelegen zones plaatsgevonden. Het is best mogelijk, dat deze afstroming en de daarmee samenhangende doorsnijding van het bodemprofiel in dekzand lokaal de verstuiving in de hand heeft gewerkt, maar hiermede kan het ontstaan van de stuifzanden en de oriëntatie van de grote stuifzandgebieden op de Midden-Veluwe niet verklaard worden.

De in figuur 3.2 nog ten dele zichtbare stuifzandgebieden van het Wekeromse Zand nemen wat verbreiding en oriëntatie aangaat een andere positie in. Ze liggen evenals die in het Roekelse en Mosselse Zand en de stuifzanden op de Doesburger en Eder Heide op relatief dikke dekzandpakketten ('gordeldekzandrug') op de flank van de stuwwallen van Oud-Reemst en Ede. Hetzelfde geldt voor een groot deel van de stuifzandzone op de Noord-Veluwe. De verbrei-

Figuur 3.3
Geulvormige laagte waarschijnlijk gevormd door de oppervlakkige afvloeiing van water; voorkomend in een uitgestoven laagte in het noordoostelijke deel van het Otterlose Zand (foto van Hesselink, 1926)
Gently sloping valley probably formed by surface run-off; occurring in a 'blown-out' area in the northeastern part of the Otterlose Zand (photograph from Hesselink, 1926)

ding van de, op de stuwwal van de oostelijke Veluwe voorkomende, stuifzandgebieden vertoont geen samenhang met het oorspronkelijke reliëf.

3.3 Facetten van stuifzandonderzoek

Alvorens op het eigen onderzoek van stuifzandvormen en -afzettingen in te gaan, wordt in deze paragraaf enige literatuur over met name de ontstaansgeschiedenis van zandverstuivingen onder invloed van de mens, de bodemprofielontwikkeling en de vegetatie in stuifzandgebieden, en de datering van stuifzandafzettingen in het kort samengevat.

3.3.1 Genese

Voor het ontstaan van zandverstuivingen moet aan de volgende voorwaarden voldaan zijn (Schelling, 1955): a. de aanwezigheid van voor winderosie gevoelig materiaal c.q. fijn, relatief sterk gesorteerd zand aan de oppervlakte; b. het materiaal moet droog zijn, hetgeen een diepe ligging van het grondwaterniveau inhoudt; c. het ontbreken van een beschermend vegetatiedek. Aan de eerste voorwaarde voldoen uiteraard het beste de dekzanden, die reeds door (herhaalde) eolische sedimentatie sterk gesorteerd zijn. Vooral de matig fijnzandige dekzandafzettingen uit het Laat-Glaciaal kunnen weer gemakkelijk door de wind opgenomen worden. Dit geldt zowel voor de stuifzanden op de Veluwe (Schelling, 1955), als voor die in Drente (De Roo, 1952; Ter Wee, 1966) en Noord-Brabant (Van den Toorn, 1967). Daarnaast kunnen zandige beek- en rivierafzettingen lokaal verstoven zijn. Ook fijnzandige pakketten van fluvio-glaciale, gestuwde preglaciale en premorenale afzettingen kunnen in beperkte mate, vooral als verdere sortering tengevolge van verspoeling is opgetreden, materiaal geleverd hebben voor zandverstuivin-

gen (Schelling, 1955; Van Lynden, 1962; Buitenhuis, 1964). Wat betreft de granulometrische en mineralogische samenstelling van stuifzanden is weinig onderzoek verricht. Meestal wordt volstaan met te vermelden dat stuifzandafzettingen onderling geringe verschillen in samenstelling laten zien (Buitenhuis, 1964; De Bakker & Edelman, 1976). Aan de tweede voorwaarde kan op de hoger gelegen delen van het Pleistoceen eveneens voldaan worden, daar waar de grondwaterspiegel enige tot tientallen meters onder het oppervlak ligt. De in oudere literatuur veelvuldig vermelde theorie, dat het ontstaan van zandverstuivingen op vele plaatsen mede te danken is aan grondwaterstandsdalingen (Moerman, 1934), is nooit afdoende bewezen.

De verstoring van de oorspronkelijke eiken-berkenbossen wordt voornamelijk toegeschreven aan de invloed van de tamelijk intensieve bewoning van de zandgronden vanaf de aanvang van het Neolithicum. Deze potentiële bosvegetatie, waarin ook linde, hazelaar, es en iep voorkwamen, heeft op de hoge arme zandgronden stellig grote oppervlakken ingenomen gedurende het Atlanticum tot in het gevorderde Subboreaal. Door veelvuldig kappen en afbranden heeft de bosvegetatie in de loop van de tijd voor een deel plaatsgemaakt voor een heidevegetatie, die op haar beurt op sommige plaatsen vernietigd werd door een te intensieve beweiding, door afbranden en door het overmatig steken van heideplaggen. Op deze plaatsen, op hooggelegen akkertjes en nabij trekwegen kon de wind vat krijgen op het blootgelegde zand en konden zandverstuivingen om zich heen grijpen.

De Neolithische kulturen, waarin landbouw bedreven werd en die dientengevolge kleinere en grotere ontbossingen teweeg hebben gebracht op de hoge, arme, Veluwse zandgronden zijn: de Trechterbekerkultuur (TRB) vanaf ca 2800 v. Chr., de Standvoetbekerkultuur (SVB) vanaf ca 2300 v. Chr., en de Klokbekerkultuur (KB) vanaf ca 1900 v. Chr. (Metz, 1975). Vondsten uit nederzettingen van de diverse bekerkulturen op de Veluwe zijn overigens tamelijk zeldzaam. In de Vroege Bronstijd vanaf ca 1800 v. Chr. en de Midden-Bronstijd (Hilversumkultuur) vanaf ca 1600 v. Chr. vindt een steeds sterkere anthropogene beïnvloeding van de natuurlijke vegetatie plaats tengevolge waarvan de bossen ten dele degenereerden tot heidevelden, terwijl de invloed van de landbouw in de Late Bronstijd vanaf ca 1300 v. Chr. en in de Voor-Romeinse IJzertijd vanaf 650 v. Chr. steeds meer toeneemt.

De 12e, 13e en de eerste helft van de 14e eeuw worden gekenmerkt door een spektakulaire bevolkingsgroei en een grote ontginningsaktiviteit, onder meer in de aangrenzende gebieden van de Veluwe langs de Zuiderzeekust, in de Gelderse Vallei en in de IJsselvallei (Slicher van Bath, 1960, 1964; Wartena, 1972, 1974/75).

Wartena (1972) neemt aan, dat in de 13e en 14e eeuw op de hogere delen van de Veluwe vele bouwlanden en zelfs hele dorpen voorgoed werden verlaten. Eerst in de tweede helft van de 16e eeuw vonden op de Veluwe weer op bescheiden schaal nieuwe ontginningen plaats. De grote ontginningen langs de randen van de Veluwe zouden volgens hem een kompensatie betekenen voor de bouwlanden, die door dalende graanprijzen, uitputting en door overstuiving niet langer te exploiteren waren. Schriftelijke bronnen over zandverstuivingen zijn bekend vanaf 1400 (Hesselink, 1920). In 1442/43 worden zandverstuivingen vermeld nabij Ermelo, Ede, Aanstoot (Otterlo), Heerde, Epe en Wezep (Wartena, 1974/75). Uit archiefonderzoek bleek, dat de zandverstuivingen in bepaalde perioden veel beschreven werden. Wartena (1974/75) vermeldt in dit verband de tweede helft van de 16e en van de 18e eeuw, die gekenmerkt werden door hinderlijke uitbreidingen van de zandverstuivingen, die door tijdgenoten toegeschreven werden aan de intensieve schapenteelt. In hoeverre deze periodiciteit in verband staat met geringe klimatologische veranderingen is niet bekend. Evenmin is iets konkreets bekend over de invloed van belangrijke ontwateringswerken langs de randen van de Veluwe, het graven van sprengen en de daarmee verband houdende papierindustrie op de Veluwe en de al uit de Romeinse tijd stammende ijzeroerindustrie, op de vorming van de stuifzanden. Volgens Wolterson (1973) werd vanaf de Romeinse tijd tot in de Vroege Middeleeuwen ijzererts gewonnen in gestuwde preglaciale afzettingen. In navolging van Moerman (1969/1970) zal volgens hem de verwerking van dit materiaal vaak tot branden en verdere ontbossingen hebben geleid, en zal aldus tevens de aanzet tot zandverstuivingen hebben gegeven.

De in de laatste jaren uitgevoerde opgravingen van een Karolingisch-Ottoonse nederzetting in het Kootwijkse Zand verschaffen inzicht in bewoningsvorm, agrarische bedrijvigheid en vegetatie-ontwikkeling in en voorafgaande aan de middeleeuwse verstuivingsperioden (Heidinga, 1973, 1976; Van Regteren Altena, 1974). Voor een overzicht van de bewoningsgeschiedenis van de Veluwe wordt verwezen naar Ten Houte de Lange (1977).

In hoeverre de vorming van stuifzanden mede klimatologisch bepaald is, staat nog ter diskussie. Waterbolk & Van Andel (1951) en Waterbolk (1954) veronderstelden, dat de volgens hen elkaar afwisselende perioden van podsolering en verstuiving samenhangen met dezelfde milieuwijzigingen, die ook veenvorming, respektievelijk de

stilstand in de veenvorming tot gevolg hadden. Een korrelatie van verstuivingsfasen met (veronderstelde) rekurrentiefasen is wel meer gesuggereerd, maar nooit aangetoond.

3.3.2 Bodemvorming

Aangezien voor het herkennen en typeren van stuifzandafzettingen naast de geomorfologie de aan- of afwezigheid van bodemprofielontwikkeling en de aard hiervan belangrijke veldkriteria zijn, worden in het kort de in deze afzettingen voorkomende profieltypen besproken, aan de hand van de Nederlandse bodemklassifikatie van De Bakker & Schelling (1966). In de bovenste centimeters van stuifzandafzettingen, begroeid met eerste generatie grove den, is een beginnende bodemvorming te zien. Dit is herkenbaar aan een verstoring van de oorspronkelijke gelaagdheid, een vlekkerig voorkomen van ingespoelde disperse humus en loodzandkleurige vlekken. Dit initiële bodemprofiel wordt een mikropodsol genoemd. In de aktieve stuifzanden, waar het zand nog niet vastgelegd is door enige vegetatie, vindt men uitsluitend de geogenetisch ontstane gelaagdheid en eventueel een laagsgewijze wisseling in humusgehalte.

De kalkloze zandvaaggronden met een ontbrekende of zwak ontwikkelde A1-horizont worden als volgt onderverdeeld:

a. *Vlakvaaggronden* (hydrozandvaaggronden); met hydromorfe kenmerken; geen ijzerhuidjes op de zandkorrels onder de meestal humusarme bovengrond; vaak voorkomend in stuifzand op veldpodsolgronden; voorkomend in uitgestoven laagten.
b. *Duinvaaggronden* (xerozandvaaggronden); zonder hydromorfe kenmerken; wel ijzerhuidjes op de zandkorrels in en onder de eventueel aanwezige vage humushoudende bovengrond; vaak voorkomend in stuifzand op haarpodsolgronden; aanwezigheid van een dunne bouwvoor of mikropodsol; veelal voorkomen van een afwisseling van meer of minder humeuze laagjes tot grote diepte; voorkomend in stuifzandafzettingen.
c. *Vorstvaaggronden* (xerozandvaaggronden); zonder hydromorfe kenmerken; veel ijzerhuidjes op de zandkorrels in en onder de vage humushoudende bovengrond; vaak voorkomend in associatie met moderpodsolgronden; voorkomend in Noord- en Midden-Limburg.

De stuifzandgronden worden door hun wisselingen in profieltype op korte afstanden veelal gekarteerd als associaties van duinvaaggronden met vlakvaaggronden of vorstvaaggronden of haarpodsolgronden. Aan de randen van sommige stuifzandkomplexen worden soms holtpodsolgronden met een stuifzanddek (< 40 cm dikte), of moerpodsolgronden met een zanddek (< 40 cm dikte; in afvoerloze laagten met een dun veenlaagje), of haarpodsolgronden met een zanddek aangetroffen. Laat-glaciale landduinen (pseudo-osar) bezitten meestal haarpodsolgronden, die gekenmerkt worden door een zwarte, humusrijke B2, een B2h waarin vrijwel alle poriën met amorfe humus gevuld zijn en direkt daaronder een ijzer-inspoelingsband. Zonneveld (1965) en Westhoff et al. (1973) geven een verklaring voor de vorming van 'iron pans' (B2ir.-hor.). Zij verklaren deze als het resultaat van extreme humuspodsolvorming, die op haar beurt samenhangt met een heidebegroeiing.

In bepaalde gevallen kan het voorkomen van humuspodsolen in stuifzanden niet alleen toegeschreven worden aan de hogere ouderdom ten opzichte van de normaal door duinvaaggronden gekenmerkte stuifzanden, maar aan een ter plaatse aanwezige dichte vegetatie, b.v. van eikenhakhout (Koster, 1968). Langs de randen van stuifzandgebieden kunnen tevens podsolgronden voorkomen met een matig dikke A1-horizont, gevormd door een kontinue, maar zeer geleidelijke overstuiving (Marsman, 1971). Door het meegroeien van de vegetatie met de geleidelijke overstuiving kan een homogene, zeer humeuze A1-horizont ontstaan, die naar beneden toe overgaat in de A1-vorming in dekzand. Deze hoge humuspodsolen met een matig dikke A1-horizont (kamppodsolgronden) kunnen verward worden met enkeerdgronden met een matig dikke A1-vorming door potstalbemesting. Bij de beoordeling van de dikte van oude bouwlanddekken moet men soms rekening houden met een geleidelijke overstuiving tijdens de ophoging (De Roo, 1953). Soortgelijke verschijnselen in stuifzanden zijn waargenomen door Maarleveld & Pape (1960) in het oostelijk deel van het Nationale Park 'De Hoge Veluwe', door Van Lynden (1958, 1962) in de boswachterijen Kootwijk, Hoenderlo en Ugchelen en door De Coninck (1957) in de Belgische Kempen.

Overstoven bodemprofielen in dekzand bestaan voor het grootste deel uit haarpodsolen. De overstoven haarpodsolen in stuifzandheuvels veroorzaken in bepaalde gevallen stagnatie van door het stuifzand infiltrerend water, waardoor een hangwaterprofiel gevormd wordt. Het water stagneert op de ondoorlatende B2h- en B2ir-horizonten. Deze al dan niet permanente stagnatie van water is in het stuifzand soms herkenbaar aan gleyverschijnselen en kan zelfs voor de overstuiving de oorzaak zijn geweest van oligotrofe veenvorming in afvoerloze laagten (Polak, 1968; Koster, 1970a). In zwak golvende dekzandgebieden en in stuifzandgebieden komen door stagnatie van water op ondoorlatende haarpodsolen gevormde meertjes voor, al dan niet gepaard gaan-

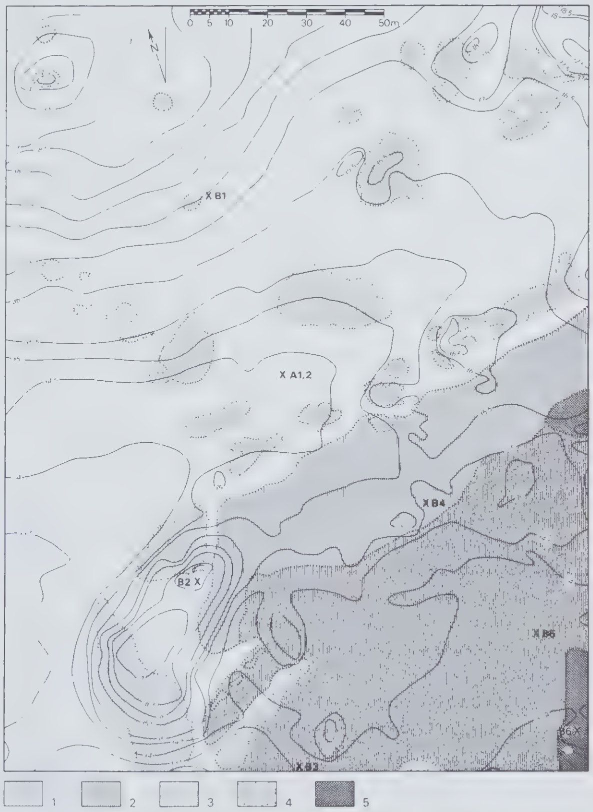
de met veenvorming hierin (Schimmel & Ter Hoeve, 1952; Voorwijk & Hardjoprakoso, 1945).

Schelling (1955) onderscheidt naar de diepte van het bodemprofiel oude stuifzandgronden (> 45 cm) en jonge stuifzandgronden (< 45 cm). Over de kwestie van de invloed van de vegetatie op de snelheid en de aard van de profielontwikkeling in stuifzanden, die de op deze wijze gedefiniëerde ‘bodemkundige ouderdom’ kan verstoren, bestaat voorzover bekend geen onderzoek. Omgekeerd oefent ook de aard van het bodemprofiel uiteraard invloed uit op de begroeiing. Bovendien geeft ook een verschil in expositie van de stuifzandhellingen via de vegetatie een verschil in bodemprofielontwikkeling te zien (Stoutjesdijk, 1959). De profielontwikkeling neemt met de tijd in diepte toe. Dit gaat aanvankelijk vrij snel en neemt vervolgens in snelheid steeds af. In stuifzand onder een nieuwe aanplant van grove den kan zich in 45 jaar reeds een 10 à 20 cm diep bodemprofiel vormen (Schelling, 1955). Over bodemprofielen van hogere ouderdom is in stuifzanden overigens weinig bekend. Hierbij komt nog dat de aard en de snelheid van de bodemprofielontwikkeling onder meer afhankelijk is van de samenstelling van het materiaal en de aard van de vegetatie, hetgeen ouderdomsbepalingen aan de hand van de bodemprofielontwikkeling in stuifzanden vooralsnog ondoenlijk maakt. Voor de bodemvorming en vegetatie-ontwikkeling in stuifzanden is de pH direkt of indirekt van betekenis (Houtzagers, 1956). Het pH-verloop is vrij uniform in stuifzanden. pH-waarden van 3-4 in A-horizonten en van 4-5 in B-horizonten zijn normaal (Schelling, 1955). In niet door bodemvorming beïnvloed stuifzand worden op de Veluwe overwegend waarden bereikt van 4,6 - 5,4. Op de betekenis van de in vele stuifzandafzettingen optredende laagsgewijze verschillen in humusgehalte wordt ingegaan in hoofdstuk 9. In stuifzanden worden sporadisch uit de direkte omgeving afkomstige ‘loodzand’-lagen aangetroffen en tevens zijn lokaties met verstoven ‘rode zanden’ bekend.

3.3.3 Vegetatie en mikroklimaat

Min of meer aktieve stuifzandgebieden worden gekenmerkt door een zeer typerende vegetatie, die ontstaan is door aanpassing aan de extreme omstandigheden die het stuifzandmilieu kenmerken. De aard van de vegetatie heeft voor een belangrijk deel de vormontwikkeling van de thans grotendeels door bebossing vastgelegde stuifzanden beïnvloed en de samenstelling van in stuifzandafzettingen voorkomende, overstoven horizonten en lagen bepaald. De belangrijkste faktoren, die het extreme milieu voor de pioniervegetatie in aktieve stuifzandgebieden bepalen, zijn: a. het uitzonderlijke mikroklimaat; b. de mineralogische armoede van het materiaal; c. het geringe vochtgehalte en d. het optreden van stuivend zand (Stoutjesdijk, 1959; Van Embden & Verwey, 1968). Kaal stuifzand droogt aan de oppervlakte relatief snel uit. Het duurt overigens enige tijd voordat regenwater de poriënlucht kan verdringen, en kan infiltreren. Dauwvorming treedt niet of nauwelijks op en bodemoppervlaktetemperaturen van 50° C op vlakke terreindelen en 60° C op hellingen met zuidexpositie zijn niet ongewoon, terwijl ’s nachts op dezelfde plaatsen, zelfs midden in de zomer, de temperatuur kan dalen tot om of onder het vriespunt (Stoutjesdijk, 1959). Vooral in uitgestoven laagten, die omgeven zijn door hoger liggende, met heide begroeide stuifzandterreinen, kan nachtvorst vaak optreden (‘vorstmeren’).

Ter illustratie van de bijzondere kondities in aktieve stuifzandgebieden worden enkele gegevens vermeld van mikroklimatologische metingen, die verricht zijn in het noordoostelijke deel van het Kootwijkse Zand nabij De Dikke Bart (meetperiode 29.6.1971 - 31.7.1971).*



Figuur 3.4
Hoogtelijnen- en vegetatiekaart van een deel van het Kootwijkse Zand ten zuidoosten van De Dikke Bart
Contour- and vegetation map of a part of the Kootwijkse Zand to the southeast of De Dikke Bart
1 - graspollen/grass tussocks, 2 - grassen/grasses, 3 - mossen/mosses, 4 - heide/heith, 5 - vliegdennen/pine trees
A1 t/m B6 - lokaties meetpunten/locations observation points

* In samenwerking met Drs. G.F.A. van Zuylen.

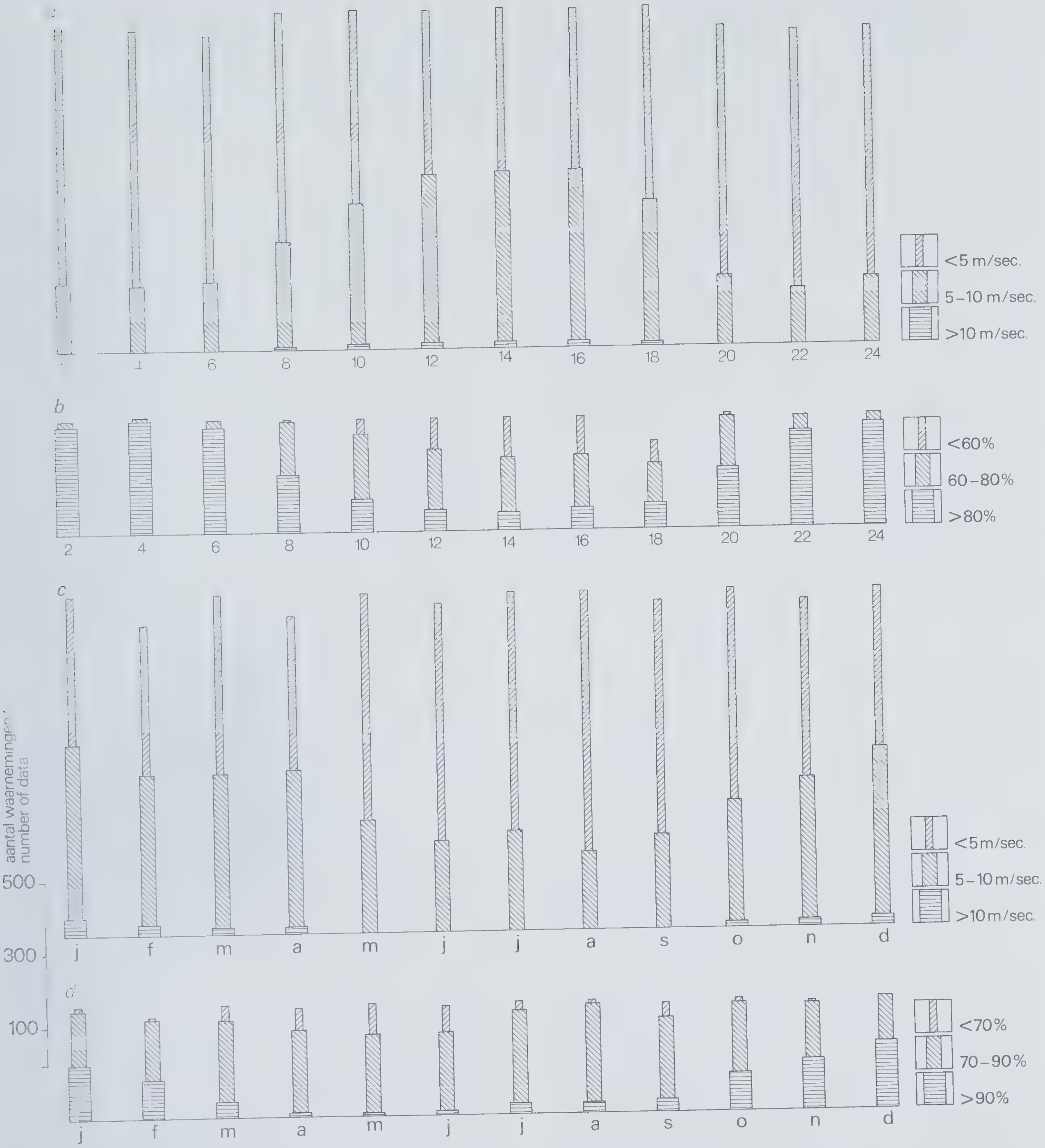
Door waterpassing is een gedetailleerde hoogtelijnenkaart (opnameschaal 1:250, hoogtes in cm's ten opzichte van NAP) vervaardigd van een klein gebied, waarin de metingen verricht zijn. In figuur 3.4 zijn de hoogtelijnen getekend met een interval van 0,5 m en is een eenvoudige vegetatie-indeling gegeven. Afgezien van kleine duinvormen bestaat het grootste deel van het gebied uit een ZW-NO georiënteerde uitblazingslaagte, waarop een pakket stuifzand van wisselende dikte is afgezet. In het noordoostelijke deel komt een koepelvormige heuvel De Dikke Bart voor, die deel uitmaakt van de stuwwal van Kootwijk en slechts een 1 à 2 m dikke stuifzandbedekking bezit. In het zuidelijke deel komt een steile, 4 à 5 m hoge stuifzandheuvel voor. In het aktieve stuifzandgebied komen verspreide plekken voor, waar het zand min of meer vastgelegd is door graspollen. In de zuidoostelijke hoek van het terrein is het stuifzand vastgelegd door een grassenen of mossenvegetatie, door heide en door vliegdennen.

Bij meetpunt A1, 2 zijn metingen gedaan in een thermometerhut (hoogte 150 cm) respektievelijk met behulp van een grasstatief (hoogte 10 cm) en een op de bodem geplaatste thermograaf. Bij de meetpunten B1 tot en met B6 zijn eveneens op 10 cm hoogte metingen verricht op plaatsen met een verschillende vegetatiebedekking. Met name het kale stuifzand wordt gekenmerkt door relatief grote, dagelijkse temperatuurschommelingen op 10 cm hoogte boven het oppervlak gemeten (10-20°C) en hoge bodemoppervlaktetemperaturen; de hoogste gemeten bodemoppervlaktetemperatuur bedroeg 47,5° C. Op 150 cm hoogte werd als hoogste luchttemperatuur 36,1° C gemeten en als laagste -2,3° C. Tussen de meetpunten onderling werden slechts geringe verschillen in etmaalgemiddelden van de temperatuur gekonstateerd (16,7° - 18,° C). Gedurende de meetperioden werden relatief geringe windsnelheden gemeten. Alleen op die dagen waarop de windsnelheid voornamelijk in de middag boven de 4 à 5 m/sec. uitkwam, is een geringe verstuiving waargenomen. In de middagperiode werden de laagste relatieve vochtigheidswaarden bereikt. Afhankelijk van expositie en vegetatie werden de volgende systematische verschillen in windsnelheden tussen de diverse meetpunten gevonden: $V_{B2} > V_{B1} > V_{A1,2} > V_{B4} > V_{B3} >> V_{B5} > V_{B6}$. Gedurende de meetperiode werd een zwakke dominantie van ONO-winden, behorende bij alle windsnelheden, gemeten, terwijl hogere windsnelheden voornamelijk bij NW- tot ZW-windrichtingen voorkwamen. Wat relatieve vochtigheid aangaat werden geen systematische verschillen tussen de meetpunten onderling gekonstateerd.

Uit gegevens van de Klimaatatlas van Nederland (1972) en de in figuur 3.5 samengevatte gegevens kan in dit verband het volgende opgemaakt worden. De maanden waarin, onder het huidige klimaat, in zijn algemeenheid de meeste kans op verstuiving is te verwachten, zijn maart tot en met augustus. Hierbij is echter alleen rekening gehouden met de maandgemiddelden van de relatieve vochtigheid en van de windsnelheid. Hierop wordt verder ingegaan in paragraaf 4.3 in verband met de oriëntatie van stuifzandvormen. Wat het dagelijkse verloop betreft, is in de zomermaanden de meeste kans op verstuiving te verwachten tussen 12.00-18.00 uur, gezien de lage waarden van de relatieve vochtigheid en de hoge waarden van de gemiddelde windsnelheid. Seppälä (1974) vermeldt voor een stuifzandgebied in Fins Lapland dat ook onder de aldaar thans bestaande periglaciale kondities eolische processen voornamelijk effektief zijn gedurende de zomer en vooral overdag. Voor uitvoeriger informatie over het mikroklimaat van stuifzandgebieden wordt verwezen naar Stoutjesdijk (1959).

De hierna volgende summiere vegetatiekundige gegevens van stuifzanden zijn ontleend aan Ellenberg (1963), Zonneveld (1965), De Smidt (1966, 1969), Cleef et al. (1970), Westhoff et al. 1973 en Schimmel (1975). Bij onderbroken zandaanvoer wordt het stuifzand, vooral in uitgestoven laagten, al spoedig enigszins vastgelegd door algen (groenwieren), die het zandoppervlak bedekken met een 1 à 2 mm dik, in niet uitgedroogde toestand, groengekleurd korstje. Indien stuifzandaanvoer niet meer al te rigoreus plaatsvindt, kan men de volgende pionierplanten aantreffen: buntgras *(Corynephorus canescens)*, zandzegge *(Carex arenaria)*, kruipend struikgras *(Agrostis canina)*, schaapszuring *(Rumex acetosella)* en heidespurrie *(Spergula vernalis)*. Helm *(Ammophila arenaria)* treft men in Nederlandse stuifzandgebieden als natuurlijke vegetatie slechts weinig aan. Ook rood zwenkgras *(Festuca rubra)* en in iets mindere mate schapegras *(Festuca ovina)* en op lage, vochtiger terreinen pijpestro *(Molinia cearulea)* kunnen als stuifzandpioniers optreden. Zodra mede door de invloed van de eerste stuifzandpioniers het zand meer tot rust komt, gaan ruig haarmos *(Polytrichum piliferum)* en vele korstmossoorten (lichenen) de funktie van stuifzandpioniers overnemen. Het doorgaans als eerste verschijnende korstmos is kraakloof *(Cornicularia aculeata)*, en vervolgens *Cladonia* soorten. De stuifzanden behoren tot de rijkste lichenengebieden.

De Smidt (1969), die een pleidooi houdt voor het behoud van de laatste restanten aktief stuifzand, gaat in op de bijzondere floristische betekenis van het stuifzandmilieu en vermeldt het voorkomen van een groot aantal, voor



Figuur 3.5
Uur- en maandwaarden van de relatieve vochtigheid en van de windsnelheid, Station De Bilt (samengesteld naar gegevens van het K.N.M.I., 1970. Klimatologische gegevens van Nederlandse stations. No. 3. Frekwentietabellen naar metingen te De Bilt in het tijdvak 1931-1960)
Hourly and monthly values of the relative humidity and of the wind velocity, Station De Bilt (compiled after data of the Roy.Neth.Meteor.Inst., 1970. Climatological data of Netherlands Stations, No. 3. Frequency tables according to the measurements at De Bilt in the period 1931-1960)
a - uurwaarden van de gemiddelde windsnelheid, juli 1931-1960/hourly values of the average wind velocity, July 1931-1960
b - uurwaarden van de relatieve vochtigheid, juli 1931-1960/hourly values of the relative humidity, July 1931-1960
c - maandwaarden van de gemiddelde windsnelheid, 1931-1960/monthly values of the average wind velocity, 1931-1960
d - maandwaarden van de relatieve vochtigheid, 1931-1960/monthly values of the relative humidity, 1931-1960

een deel zeldzame korstmossen in het Kootwijkse Zand. De korst- en bladmossensteppe vormt nog maar een tussenstadium in de suksessie van aktief stuifzand naar door struikheide *(Calluna vulgaris)* en of dopheide *(Erica tetralix)*, kruipbrem *(Genista pilosa)* en vervolgens door opslag van ruwe berk *(Betula verrucosa)*, zomereik *(Quercus robur)* en grove den *(Pinus sylvestris)* vastgelegd stuifzand. Op enkele plaatsen worden jeneverbesstruwelen *(Juniperus communis)* aange-

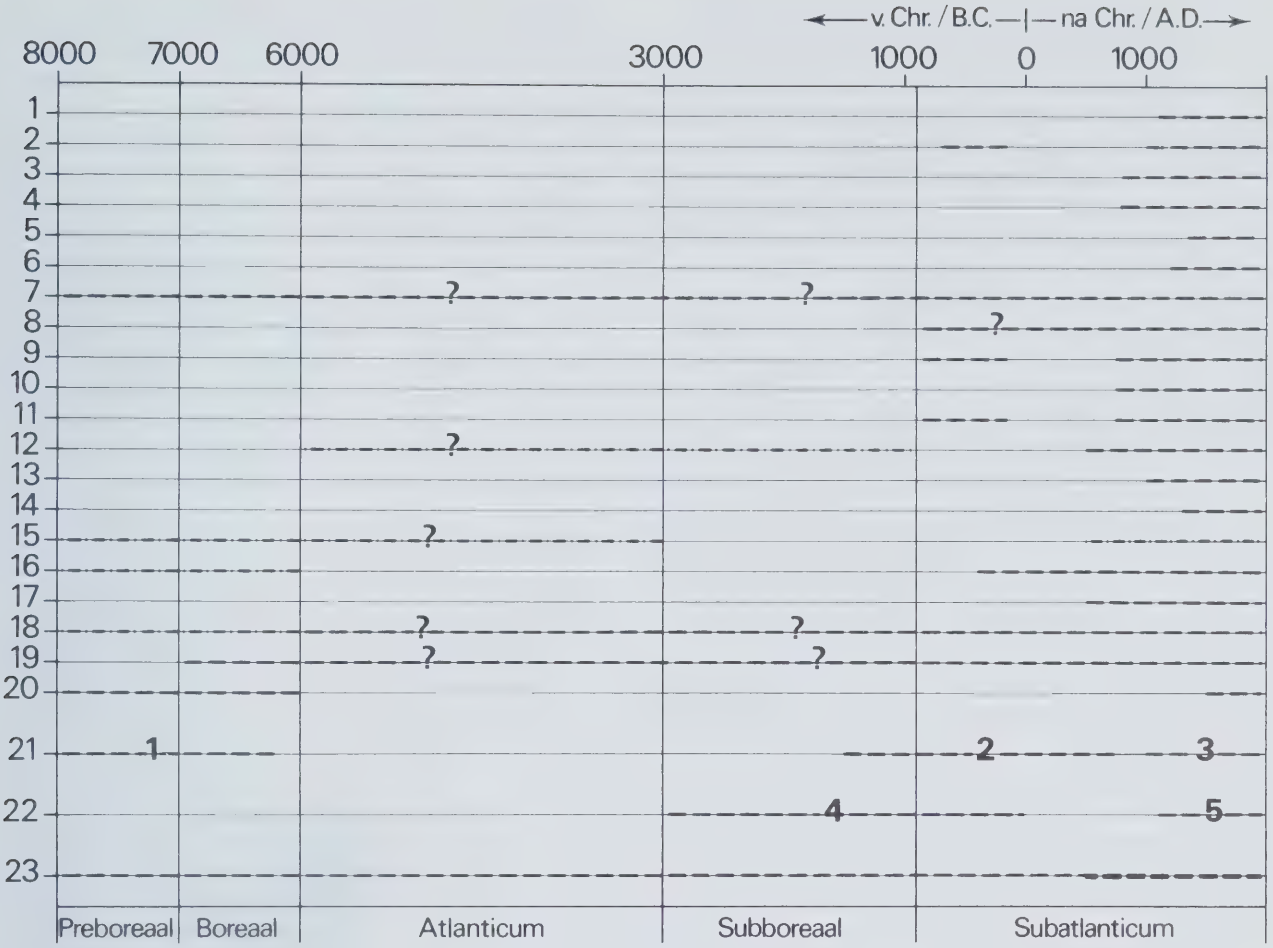
troffen op stuifzand. Plaatselijk komt op de Noord-Veluwe, bij uitstek op hellingen met een N-expositie, op vastgelegd stuifzand kraaiheide *(Empetrum nigrum)* voor. Het proces van dichtgroeien door lage vegetatie verloopt vrij traag. De kwetsbare vegetatie van korstmossen, haarmossen of heide kan gemakkelijk overstoven raken, waarna het proces opnieuw kan beginnen. Hebben zich eenmaal door spontane opslag vliegdennen, die goed bestand zijn tegen overstuiving, gevestigd, dan verloopt het dichtgroeien in een veel sneller tempo. De suksessie van blad- en korstmossteppen via de heidevelden, de vliegdennenheide en het vliegdennenbos eindigt in het klimaxstadium van het eiken-berkenbos *(Querco-Betuletum)*, dat behoort bij de voedselarme, zure zandgronden. De aard van de ondergrond en het mikroreliëf (steilte en expositie van stuifzandhellingen) zijn van groot belang voor de richting waarin de suksessie verloopt. De kleinere zandverstuivingen groeien meestal tamelijk snel dicht; slechts in de grotere aktieve stuifzanden ontwikkelt de wind voldoende kracht om vastleggen door vegetatie langdurig tegen te gaan.

Zomereiken groeien veel op plateaurestduinen, soms zelfs grotendeels begraven door stuifzand. De zomereik werd voornamelijk aangeplant als hakhout, om looizuurhoudende bast te leveren voor de leerlooierijen. Tot ca 1900 was deze hakhoutkultuur nog over grote oppervlakken in zwang. Opvallend is dat ook op vele rand- en houtwalduinen een eikenhakhoutvegetatie voorkomt. Uit historische gegevens is bekend, dat voor de beteugeling van stuifzanden naast grove den ook eikenstruiken zijn gebruikt (Veldhorst, 1965). Door het vastleggen van stuifzand in aangeplante, en mogelijk ten dele door spontane opslag ontstane vegetatiezones, zijn hoge stuifzandruggen gevormd. Hout- en wildwallen werden aangelegd om de akkergewassen tegen vernieling door het vee en het wild te beschermen, ter bevestiging van eigendom, om te voorzien in de behoefte aan hout en eikenschors, en stellig ook om onderstuiven van akkers tegen te gaan. Voordat in het stuifzand op grote schaal grove den werd aangeplant, waren de zomereiken de voornaamste houtige begroeiing in deze terreinen. Wolterson (1973) toonde aan, dat de inheemse grove den zich altijd in stuifzanden heeft kunnen handhaven, zij het niet als opgaand bos. De heidevelden bereikten in het begin van de 19e eeuw hun maximale uitbreiding. Nadat in dezelfde tijd enige pogingen tot verdeling der markegronden op de Veluwe mislukt waren, maakte de Markenwet van 1886 de ontbinding mogelijk van het gemeenschappelijk bezit der heidevelden, en kon van staatswege een begin gemaakt worden met de bebossing van heidevelden en stuifzandgebieden. Hiervoor werd overwegend grove den gebruikt en in minder mate Oostenrijkse den *(Pinus nigra)* en Corsikaanse den *(Pinus laricio)*. Later zijn ook snelgroeiende en meer produktieve houtsoorten ingevoerd en aangeplant.

3.3.4 Ouderdom

Stuifzanden kunnen gedateerd worden door middel van palynologisch onderzoek van begraven of ingeschakelde veenlaagjes, bodemprofielen of humeuze horizonten en lagen. Onder het begrip ouderdom van het stuifzand wordt dan verstaan de tijd die is verlopen sinds de verstuiving is begonnen ('geologische ouderdom', volgens Schelling, 1955). Daarnaast kan in bepaalde gevallen prehistorisch-archeologisch onderzoek een nauwkeurige ouderdomsbepaling mogelijk maken. Zoals reeds vermeld is, kan ouderdomsbepaling van het eindstadium van sedimentatie ('bodemkundige ouderdom', volgens Schelling, 1955) door onderzoek van de in de stuifzanden ontwikkelde bodemprofielen (nog) niet met nauwkeurigheid worden uitgevoerd. Archivalisch onderzoek naar het optreden van zandverstuivingen is nog slechts in beperkte mate verricht en kan niet veel eerder reiken dan het begin van de 15e eeuw. Schelling (1955) spreekt in dit verband over de 'historische ouderdom', hetgeen wil zeggen, de periode die is verlopen sinds de stuifzanden een dusdanige uitbreiding kregen, dat men er veel hinder van ondervond. Het begrip ouderdom van de vorm dient bij stuifzanden uiteraard niet verward te worden met de ouderdom van het materiaal. De ouderdom van de vorm is, in het geval van aktieve (nog in beweging zijnde) stuifzanden in feite nul en kan voor door vegetatie vastgelegde vormen opgevat worden als het tijdstip van vastlegging. Brouwer (1947) stelde het probleem van de ouderdomsbepaling van stuifzanden terecht als volgt: 'Gering is onze kennis omtrent het tijdstip van ontstaan van de zandverstuivingen. Van de zandverstuivingen kan men het bestaan soms nog enige eeuwen terug vervolgen aan de hand van archiefgegevens, maar hun beginfase onttrekt zich aan onze waarneming in de veelal duistere tijdsruimte, waarmee geologen noch prehistorici zich dikwijls bezighouden. Gewoonlijk rusten ze op pleistocene zanden, waarvan het stuifzand niet of nauwelijks kan worden onderscheiden, en zo dit al mogelijk is blijft toch de grootte van het stratigrafisch hiaat dat beide scheidt, onbekend'.

In figuur 3.6 zijn literatuurgegevens samengevat over de datering van holocene zandige windafzettingen. Voor de samenstelling van deze figuur is de volgende literatuur geraadpleegd: 1. Polak, 1968-Veluwe; 2. Havinga, 1964a-Ve-



Figuur 3.6
De veronderstelde ouderdom van holocene zandige windafzettingen
The supposed age of Holocene eolian sand deposits
1 - 19 - zie literatuurverwijzingen in de tekst/see references in text; 12, 15, 16, 18-·-·-·-rivierduinafzettingen/river dune deposits
21 - volgens/after De Ploey (1961), 1 - Formatie van Beerze/Beerze Formation, 2 - Formatie van Meer/Meer Formation, 3 - Formatie van Kalmthout/Kalmthout Formation
22 - kustduinen volgens/coastal dunes after Jelgersma et al. (1970) en/and Zagwijn (1971), 4 - Oude Duin Afzettingen/Older Dune Deposits, 5 - Jonge Duin Afzettingen/Younger Dune Deposits, Westland Formatie volgens/Westland Formation after Zagwijn & Van Staalduinen (1975)
23 - Formatie van Kootwijk volgens/Kootwijk Formation after Zagwijn & Van Staalduinen (1975)

luwe; 3. Van Regteren Altena, 1974-Veluwe; 4. Heidinga, 1973-Veluwe; 5. Koster, 1968-Veluwe; 6. Koster, 1970a-Veluwe; 7. Van Zinderen Bakker, 1948-Veluwe en omgeving; 8. Brouwer, 1947-Drente; 9. Waterbolk & Van Andel, 1951-Drente; 10. De Roo, 1952-Drente; 11. De Roo, 1953-Drente; 12. Van der Hammen, 1971-langs de Dinkel; 13. Sevink et al., 1970-langs de Dinkel; 14. Vink & Sevink, 1971-langs de Dinkel; 15. Hamming et al., 1965-langs de IJssel; 16. Teunissen & Teunissen-Van Oorschot, 1973-langs de Maas; 17. Van den Toorn, 1967-Noord-Brabant; 18. Stiboka, 1976-Noord-Brabant; 19. Zonneveld, 1965-Noord-Brabant; 20. Maarleveld & De Lange, 1973-Veluwe.

Vermelding van deze gegevens wil niet zeggen, dat de schrijver het in alle gevallen eens is met de door interpretatie van palynologische gegevens of anderszins gedateerde verstuivingsperioden. In die gevallen waar uit de literatuur geen nauwkeurige tijdsbepaling was op te maken of waar de schrijver van deze studie twijfels heeft over de juistheid van de vermelde gegevens, is dit met vraagtekens aangegeven.

Ter vergelijking zijn onder de nummers 21 en 22 gegevens opgenomen over de belangrijkste perioden van zandtransport gedurende het Holoceen volgens studies over de zandige windafzettingen in België en over de Nederlandse kustduinen. De stuifzanden behoren tot de Formatie van Kootwijk (23).

Op grond van de hier samengevatte literatuur kan gesteld worden, dat zandtransport door de wind voornamelijk heeft plaatsgevonden in de volgende delen van het Holoceen:

a. in het Preboreaal en Boreaal; overwegend afzetting van rivierduinzanden,
b. vanaf de overgang Atlanticum-Subboreaal (begin Neolithicum, omstreeks 3000 v. Chr.); vorming Oude duinen langs de kust,

lokaal optredende verstuivingen op de pleistocene zandgronden,

c. vanaf de overgang Subboreaal-Subatlanticum tot omstreeks het begin van de jaartelling; vorming Oude duinen langs de kust, lokaal optredende verstuivingen op de pleistocene zandgronden,

d. in de Vroege Middeleeuwen (vanaf 500 à 600 na Chr.); lokaal optredende verstuivingen op de pleistocene zandgronden,

e. vanaf de aanvang van de Late Middeleeuwen (vanaf 900 à 1300 na Chr.); vorming Jonge duinen langs de kust, regionaal optredende verstuivingen op de pleistocene zandgronden.

De afzetting van rivierduinzanden kan afhankelijk van de lokale omstandigheden gedurende het gehele Holoceen op verschillende plaatsen en tijdstippen opgetreden zijn. De vorming van de stuifzanden vanaf het begin van het Neolithicum is in sterke mate antropogeen beïnvloed. Volgens Van Zinderen Bakker (1948) zou uit het voorkomen van ingestoven zandkorrels in holocene veenpakketten opgemaakt kunnen worden, dat gedurende het gehele Holoceen lokaal zandverstuivingen op de Veluwe zijn opgetreden. Dit wordt niet bevestigd door de overige gegevens, die zijn samengevat in figuur 3.6. Polak (1959, 1968) vermeldt, dat in subatlantische veenpakketten de hoeveelheid ingestoven zand over het algemeen weer sterk toeneemt. Waterbolk & Van Andel (1951) zijn in feite de eersten, die de betekenis van de Late Middeleeuwen als belangrijke periode van zandverstuivingen hebben herkend. Havinga (1962, 1964a) toonde voor het eerst aan, dat het ook mogelijk is een indruk te krijgen van de ouderdom van stuifzanden door interpretatie van pollendiagrammen van overstoven bodemprofielen.

Met de in figuur 3.6 samengevatte gegevens over de datering van zandige windafzettingen zou ten onrechte de indruk gewekt kunnen worden, dat de ouderdom van in het Holoceen optredende zandverstuivingen reeds vast staat. Hierop wordt nader ingegaan in hoofdstuk 10.

4 ORIENTATIE

4.1 Inleiding

Stuifzanden zijn wat betreft de vorm, ligging en oriëntatie in sterke mate bepaald door de al dan niet natuurlijke vegetatie. In de Veluwse stuifzanden komen grote aantallen min of meer langwerpige duinvormen voor, waarvan de aard van de helling, ligging en oriëntatie bepaald is door bosranden (randwalduinen), perceelsbegrenzingen (houtwalduinen), kunstmatige vegetatiezones (stuifdijken) enz. Zoals in paragraaf 2.2 besproken is, maakt het stuifzandreliëf in het terrein meestal een chaotische indruk, zowel wat betreft het type duinvorm, als wat betreft de oriëntatie van de duinvormen. Duinvormen met een duidelijke door de windrichting bepaalde oriëntatie, zoals bij de kust- en rivierduinen voorkomende paraboolduinen, worden in de stuifzanden slechts sporadisch gevonden. Dit houdt ondermeer verband met het ontbreken van een eenzijdig herkomstgebied.

Voorzover het systeem van rivierduinen ten oosten van de Maas duidelijk paraboolvormig ontwikkeld is, bezit dit een oriëntatie, die wijst op transport vanuit de rivierbedding door zuidwestelijke tot westzuidwestelijke winden.

Van Straaten (1961) heeft de oriëntatie van de duinvormen langs de Nederlandse kust bestudeerd in relatie tot de frequentieverdeling van de huidige windrichting. Uit dit onderzoek bleek dat de richting van de resulterende wind vanaf de kust in landinwaartse richting over het algemeen iets krimpt van N 249° E tot N 234° E. De meeste overeenkomst tussen de oriëntatie van kustduinvormen en de richting van de resulterende wind werd gevonden bij windsnelheden van > 8 m/sec. Volgens Depuydt (1967), die de geomorfologie van de Belgische Westhoek kustduinen onderzocht, variëert aldaar de oriëntatie van de duinvormen overwegend tussen N 70° - 75° / 250° - 255° E, min of meer overeenkomend met de richting van de resulterende wind van het snelheidstrajekt waarbij zandtransport kan optreden. Bovendien vond Depuydt (1967), evenals Van Straaten (1961), dat het azimut van de resulterende wind groter is bij hoge windsnelheden dan bij lage, meer frequent optredende windsnelheden. Volgens beide auteurs wordt landinwaarts de invloed van de resulterende wind, behorend bij alle snelheden, op de duinoriëntatie groter en neemt de invloed van de resulterende wind behorende bij de hoogste snelheden relatief af.

In enkele publikaties wordt gewezen op de dominerende W-O tot ZW-NO oriëntatie van de lengte-assen van langwerpige stuifzandheuvels en uitgestoven laagten, en van de sporadisch voorkomende paraboolvormige landduinen. Deze richting zou verband houden met de windrichting, waarbij een belangrijk deel van het zandtransport plaats vindt (Van Straaten, 1963; Buitenhuis, 1964; Van Embden & Verwey, 1968). Volgens de laatsten echter zullen tevens langer aanhoudende, vrij krachtige (droge) oostenwinden een belangrijk aandeel in het totale zandtransport hebben. Van Straaten (1963) vermeldt ook dat gehele stuifzandzones een zelfde oriëntatie bezitten. Volgens Bisschops (1973) is er ook een verband tussen de ZW-NO gerichte dekzandzones in Noord-Brabant en de windrichting.

De oriëntatie van dekzand- en duinvormen van verschillende ouderdom en de ligging ervan ten opzichte van bepaalde herkomstgebieden is veelvuldig onderzocht, om hieruit konklusies te trekken over de windrichtingen, die bepalend zijn geweest voor transport en afzetting (Poser, 1950; Sundborg, 1955; Liedtke, 1957/58; Gullentops, 1957 en De Ploey, 1961). Het Nederlandse onderzoek dienaangaande wordt besproken in paragraaf 4.4, ter vergelijking met de oriëntatie van de stuifzandvormen.

Tijdens bestudering van luchtfoto's van de Veluwse stuifzandgebieden bleek het niet mogelijk door middel hiervan gedetailleerde metingen te verrichten aangaande de oriëntatie van afzonderlijke stuifzandvormen. Zowel in door bos vastgelegde, als in aktieve stuifzandgebieden komen de reliëfvormen op het fotobeeld – op de in Nederland gebruikelijke schaal van ca 1: 20.000 – niet goed tot uitdrukking. De globale oriëntatie van aktieve stuifzandgebieden als geheel, en van hierin voorkomende 'windbanen' is uiteraard wel herkenbaar op de luchtfoto's. Figuur 4.1 van het grootste, aaneengesloten nog aktieve stuifzandgebied in Nederland is hiervan een sprekend voorbeeld. Als bijzonderheid kunnen de op deze foto in het oostelijk deel van het Kootwijkse Zand (midden rechts op de foto) in de aktieve stuifzanden zichtbare 'trekwegen' genoemd worden. Naast bestudering van luchtfotoseries van diverse Veluwse stuifzandgebieden (Koster, 1970b) zijn enkele series foto's van het Kootwijkse Zand uit de jaren 1950, 1954, 1963, 1971 en 1973 vergeleken. Deze fotosequentie toonde, dat in dit korte tijdsbestek slechts kleine verschillen in verbreiding van aktief stuifzand optraden. In deze periode is een geringe uitbreiding van het areaal door vliegdennen, heide- en mosvegetaties, en door algengroei vastgelegde stuifzanden herkenbaar. Door vegetatie min of meer vastgelegde stuifzandheuvels veranderden in deze periode niet of nauwelijks van ligging.

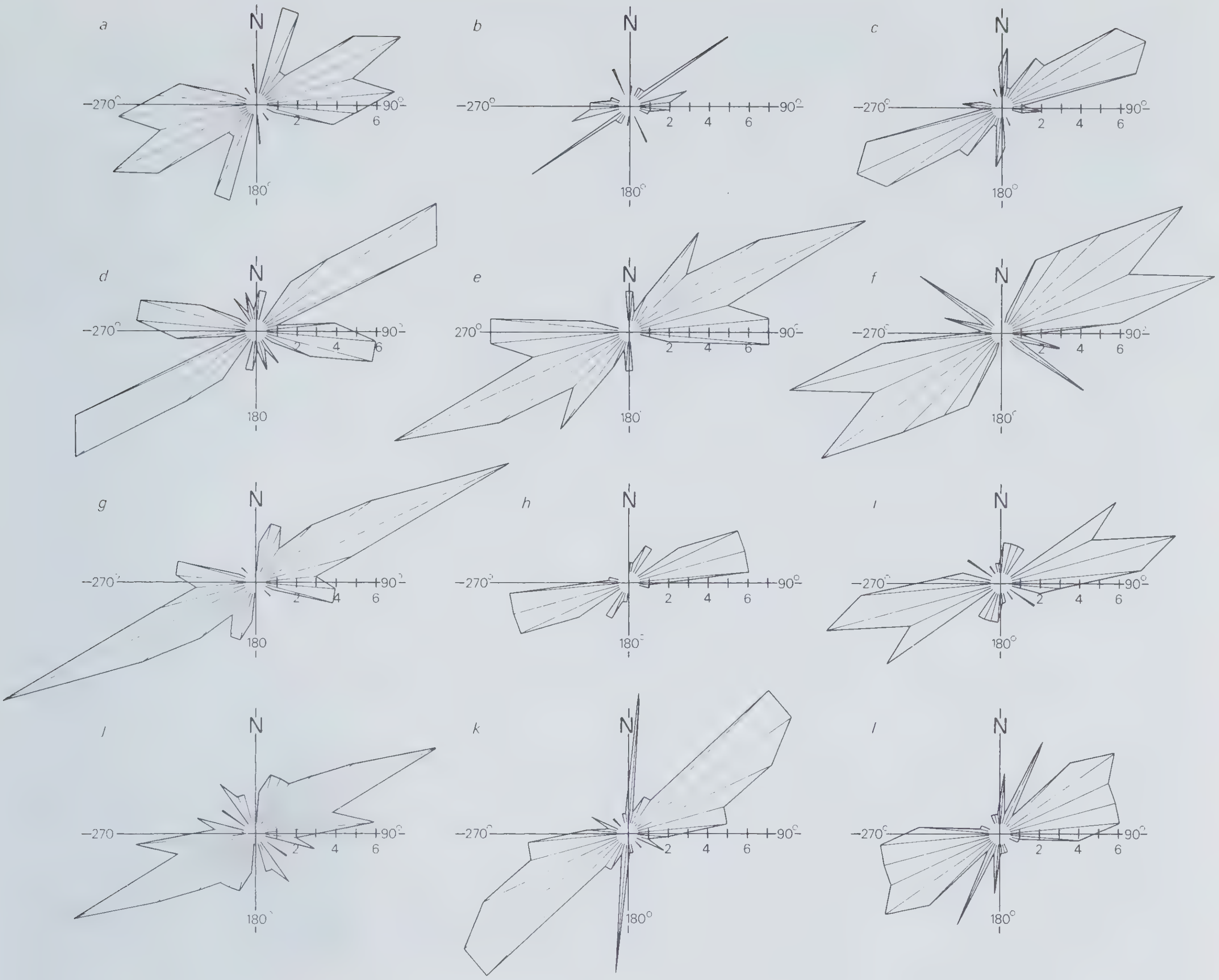
Figuur 4.1
Het Kootwijkse Zand; de oriëntatie van de onderdelen van dit aktieve stuifzandgebied variëert van N 45°-55°/225°-235° E; ten noorden van Kootwijk (midden boven) is een deel van het aktieve stuifzandgebied Kootwijkerduinen zichtbaar, dat een oriëntatie heeft van N 65°-70°/245°-250° E (foto Archief Topografische Dienst, 32 0, IV, 130, 1971, schaal/scale ± 1 : 20.000)
The Kootwijkse Zand; the orientation of the different parts of this active drift sand area varies from N 45°-55°/225°-235° E; to the north of Kootwijk (central upper part) the active drift sand area Kootwijkerduinen is just visible, which has an orientation of N 65°-70°/245°-250° E

Geheel onbegroeide stuifzandheuvels veranderen snel van vorm en ligging, maar zijn als zodanig op de meeste luchtfotoseries niet herkenbaar. Alleen foto's, die gevlogen zijn bij zeer lage zonnestand, geven een goed beeld van het aktieve stuifzandreliëf. Van een ten dele nog aktief stuifzandgebied nabij Weert is een soortgelijke luchtfotosequentie besproken door Salomé & Bruckwilder-Kop (1972).

Fenologische indikaties (zoals de asymmetrie van boomkruinen) voor de bepaling van de oriëntatie van de overheersende windrichting zijn in stuifzandgebieden in sterke mate afhankelijk van het lokale reliëf, en daardoor van beperkte waarde.

4.2 Oriëntatie van stuifzandvormen

Door meting van het azimut van de lengte-assen van op topografische kaarten aangegeven stuifzandvormen, is getracht een indruk te verkrijgen van het al dan niet optreden van bepaalde oriëntatierichtingen. Op de topografische kaarten (schaal 1:10.000) zijn in een twaalftal,



Figuur 4.2
De oriëntatie van stuifzandvormen op de Veluwe, gemeten in een aantal kaartvlakken van ieder 1 km^2; langs de horizontale as staat het aantal waarnemingen vermeld
The orientation of drift sand forms in the Veluwe, determined in 12 km grid squares on the topographical maps (scale 1 : 10.000); the number of observations is indicated on the horizontal axis.
a - Wekeromse Zand, b, c - Otterlose Zand, d - Kootwijkse Bos, e, f, g - Kootwijkse Zand, h - Stroese Zand, i - Harskampse Zand, j - Leuvenumse Bos, k - Beekhuizer Zand, l - Hulshorstse Zand

in stuifzandgebieden gelegen kaartvlakken – ieder ter grootte van 1 km^2 – de richtingen van de, in de aangegeven stuifzandheuvels herkenbare, lengte-assen gemeten. Bij de keuze van de lokaties van deze kaartvlakken is uitsluitend gelet op het feit of deze kaartvlakken wel in hun geheel binnen diverse, over de gehele Veluwe verspreide stuifzanden liggen. De lokaties van deze kaartvlakken zijn aangegeven in appendix 1. De gemeten oriëntatierichtingen zijn per kaartvlak afzonderlijk weergegeven in pooldiagrammen, waarbij intervallen van 10° zijn gebruikt (figuur 4.2). De oriëntatie van heuvels is alleen dan gemeten wanneer de lengte van de langste as globaal meer dan tweemaal de lengte van de loodrecht daaropstaande as is. De kaartvlakken a. Wekeromse Zand, c. Kootwijkse Zand, i. Harskampse Zand en l. Hulshorstse Zand beslaan overwegend aktieve stuifzandgebieden. De overige kaartvlakken (b, d, e, f, g, h, j en k) betreffen door bos vastgelegde stuifzandgebieden.

Het percentage duinvormen met meetbare oriëntatie, voorkomend in de diverse kaartvlakken staat in tabel 4.1. In totaal werd het azimut van de lengte-assen van ca 600 stuifzandheuvels bepaald. Hiertegenover staan ca 850, voor een belangrijk deel veel kleinere stuifzandheuvels in dezelfde gebieden, die geen oriëntatie bezitten of waarvan de oriëntatie niet meetbaar is. Per kilometerkaartvlak variëerde het percentage heuvels met oriëntatie van 31 tot 64%. De verdeling van deze percentages over de diverse kaartvlakken, van zowel aktieve als door naaldhoutbebossing vastgelegde stuifzanden blijkt willekeurig te zijn. In het geval van de slechts weinig voorkomende paraboolvormige stuifzandheu-

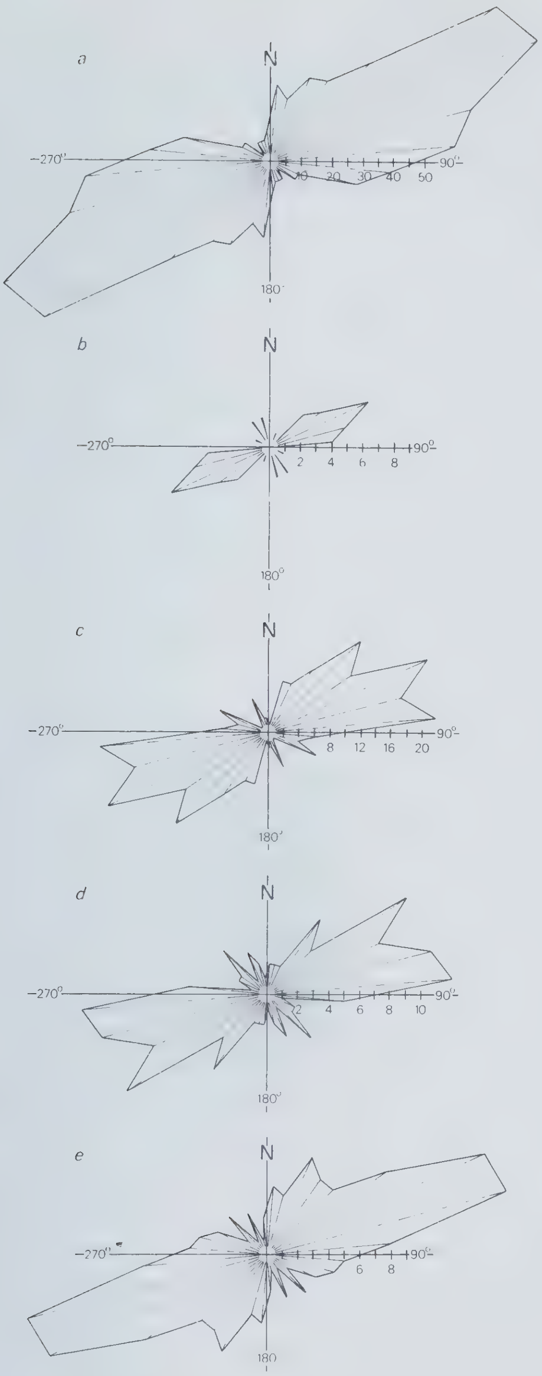
lokatie location	overheersende oriëntatierichting* prevailing orientation direction	spreiding grootste deel oriëntatierichtingen* distribution major part orientation directions	sekundaire (overheersende) oriëntatierichting* secundary (prevailing) orientation direction	%
stuifzandvormen op de Veluwe: (opp. kaartvlakken a t/m l - 1km²) drift sand forms on the Veluwe: (grid squares a-l - 1km²)				
a - Wekeromse Zand	N 65°/245° E	N 50°-100°/230°-280° E	N 20°/200° E	48
b - Otterlose Zand	N 65°/245° E	N 50°- 80°/230°-260° E		40
c - " "	N 65°/245° E	N 50°- 80°/230°-260° E		61
d - Kootwijkse Bos	N 60°/240° E	N 45°- 70°/225°-250° E	N 100°/280° E	63
e - Kootwijkse Zand	N 65°/245° E	N 35°- 95°/215°-275° E		31
f - " "	N 60°/240° E	N 35°- 85°/215°-265° E		37
g - " "	N 65°/245° E	N 50°- 75°/230°-255° E		40
h - Stroese Zand	N 75°/255° E	N 60°- 90°/240°-270° E		64
i - Harskampse Zand	N 75°/255° E	N 50°- 90°/230°-270° E	N 20°/200° E	43
j - Leuvenumse Bos	N 65°/245° E	N 40°- 90°/220°-270° E		60
k - Beekhuizer Zand	N 50°/230° E	N 40°- 75°/220°-255° E	N 5°/185° E	37
l - Hulshorstse Zand	N 65°/245° E	N 45°- 90°/225°-270° E	N 25°/205° E	36
sommatie 12 kaartvlakken, average for the 12 areas	N 65°/245° E	N 45°- 85°/225°-265° E		43
stuifzandvormen in Zuidwest-Nederland (omg. Ossendrecht) drift sand forms in the southwestern part of The Netherlands				
kaartvlak 1,2 area	N 65°/245° E	N 40°- 80°/220°-260° E	N 5°/185° E	52
3,4	N 65°/245° E	N 55°- 75°/235°-255° E	N 25°/205° E	60
5,6	N 75°/255° E	N 65°- 85°/245°-265° E		47
sommatie 6 kaartvlakken average for the 6 areas	N 70°/250° E	N 50°- 85°/230°-265° E		53
stuifzandgebieden op de Veluwe drift sand areas on the Veluwe	N 65°/245° E	N 50°- 85°/230°-265° E		
stuifzandgebieden in Nederland drift sand areas in The Netherlands	N 65°/245° E	N 35°- 85°/215°-265° E		59
Ter vergelijking: For comparison:				
Jonge kustduinen in West-Nederland Younger coastal dunes in the western part of The Netherlands	N 75°/255° E à N 80°/260° E	N 65°- 90°/245°-270° E (naar gegevens van/data from Van Straaten, 1961)		
Jonge kustduinen in België Younger coastal dunes in Belgium	N 70°/250° E à N 75°/255° E	(naar gegevens van/data from Depuydt, 1967)		
dekzandvormen (J.D.I) in Midden-Nederland, cover sand forms (Y.C.I) in the central part of The Netherlands	N 110°/290° E	N 100°-125°/280°-305° E (naar gegevens van/data from Maarleveld, 1960)		
dekzandvormen (J.D.II) in Zuidwest Nederland, cover sand forms (Y.C.II) in the southwestern part of The Netherlands	N 65°/245° E	N 55°- 80°/235°-260° E (naar gegevens van/data from Van der Sluys & Maarleveld, 1963)		
landduinen op de Veluwe (pseudo-osar), inland dunes on the Veluwe	N 70°/250° E	N 55°- 85°/235°-265° E	N 135°/315° E	

Tabel 4.1 Overheersende oriëntatierichtingen in stuif- en dekzandvormen, kust- en landduinen
% - stuifzandvormen met meetbare oriëntatie
* - zie toelichting in de tekst

Table 4.1 Prevailing orientation directions in drift and cover sand forms, coastal and inland dunes
% - drift sand forms with measurable orientation
* - see explanation in text

vels werd het azimut van de niet-boogvormige delen gemeten. Scheiding van langwerpige duinvormen, die mogelijk parallel aan de overheersende windrichting, waarbij zandtransport optreedt, zijn ontstaan (longitudinaal) en langwerpige duinvormen, die gevormd zijn door het vastlopen van stuifzand in bosranden, perceelscheidingen, kunstmatige vegetatiezones enz. (transversaal), is op grond van het kaartbeeld niet altijd mogelijk. Daarom is in alle gevallen het azimut van de lengte-assen van de duinvormen gemeten, ongeacht de veronderstelde transportrichting. Met uitzondering van de hierboven genoemde (transversale), langwerpige duinvormen, bezitten de meeste langwerpige duinvormen, waarvan de oriëntatie gemeten is, lengtes die in dezelfde orde van grootte liggen. De oriëntatiegegevens van de Veluwse stuifzandvormen zijn gesommeerd in figuur 4.3a.

De oriëntatie van de lengte-assen van de Veluwse stuifzandgebieden als geheel is eveneens bepaald. Ook in dit geval werd het azimut van de langste as in de stuifzandgebieden gemeten, indien deze meer dan tweemaal de lengte van de loodrecht daarop staande as was (figuur 4.3b). De meeste Veluwse stuifzandgebieden bezitten



Figuur 4.3
De oriëntatie van stuifzandvormen en landduinen; langs de horizontale as staat het aantal waarnemingen vermeld
The orientation of drift sand forms and inland dunes; the number of observations is indicated on the horizontal axis

- a - sommatie stuifzandvormen op de Veluwe (oppervlak 12 km^2)/total for drift sand forms in the Veluwe (area 12 km^2)
- b - globale oriëntatie van de lengte-assen van de Veluwse stuifzandgebieden/ approximate orientation of the longest axes of the drift sand areas in the Veluwe
- c - globale oriëntatie van de lengte-assen van de stuifzandgebieden in Nederland/approximate orientation of the longest axes of the drift sand areas in The Netherlands
- d - laat-glaciale landduinen (pseudo-osar) op de Veluwe/Late Glacial inland dunes (pseudo-osar) in the Veluwe
- e - sommatie stuifzandvormen in Zuidwest-Nederland (omgeving Ossendrecht, oppervlak 6 km^2)/total for drift sand forms in the southwestern part of The Netherlands (near the Belgian border, area 6 km^2)

een zeer uitgesproken langgerekte vorm met een oriëntatie van N 50° - 85° / 230° - 265° E, en met een overheersende oriëntatierichting van ca N 65° / 245° E.

De oriëntatie van de lengte-assen van de stuifzandgebieden als geheel in de diverse delen van Nederland is op dezelfde wijze bepaald (figuur 4.3c). Deze metingen werden uitgevoerd aan de hand van de op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:200.000 (1961) aangegeven kaartvlakken van de legenda-eenheid 124 (= kalkarme, hoge, humusarme, niet lemige, soms zwak lemige, arme en zeer arme zandgronden). Van de 250 aangegeven gebieden bleek het in 148 gevallen mogelijk aldus een globale oriëntatierichting te bepalen. Het grootste deel van deze stuifzandgebieden bleek een oriëntatie te bezitten van N 35° - 85° / 215° - 265° E, met een overheersende oriëntatierichting van ca N 65° / 245° E. Tussen de oriëntatierichtingen van de stuifzandgebieden in Brabant en Limburg, Midden-Nederland, Oost-Nederland en Drente werden slechts geringe verschillen gekonstateerd. Met name van de stuifzandgebieden in Brabant en op de Veluwe kon overigens van de grote meerderheid van de gevallen een oriëntatierichting bepaald worden, terwijl dit in Oost-Nederland en in Drente slechts bij minder dan de helft van de gevallen mogelijk was. De stuifzanden in Oost-Gelderland, Overijssel en Drente bestaan in de meeste gevallen namelijk uit relatief kleine, geïsoleerde gebieden met een weinig uitgesproken lengterichting, met uitzondering van de stuifzandgebieden ter weerszijden van de Overijsselse Vecht.

In figuur 4.2 is de grote mate van overeenkomst in de frequentieverdelingen van de oriëntatie in de 12 bestudeerde kaartvlakken opvallend. Het grootste deel van de stuifzandvormen bleek een oriëntatie te bezitten variërend van N 45° - 85° / 225° - 265° E, met een overheersende oriëntatierichting van ca N 65° / 245° E, gelijk aan die van de stuifzandgebieden als geheel. In enkele gebieden werd een sekundaire (overheersende) oriëntatierichting gevonden, variërend van N 5° - 25° / 185° - 205° E. Dit kan voor een deel worden toegeschreven aan de toevallige oriëntatie van aldaar voorkomende grotere aantallen, door lokale vegetatie-omstandigheden bepaalde stuifzandruggen (rand-, houtwalduinen).

Samenvattend kan gekonstateerd worden dat, ondanks het ogenschijnlijk chaotische karakter, wat vorm en oriëntatie van de stuifzandvormen betreft, de meerderheid van de Veluwse stuifzandvormen, waarvan de oriëntatie op deze wijze gemeten kan worden, WZW-ONO georiënteerd is.

Onder meer gezien het feit dat de rich-

ting van de resulterende wind vanaf de kust in landinwaartse richting iets krimpt (Van Straaten, 1961), kunnen verschillen verwacht worden tussen de oriëntatie van stuifzandvormen in diverse delen van Nederland. Teneinde dit na te gaan is op de topografische kaart (1:10.000) de oriëntatie gemeten van stuifzandvormen, gelegen in een zestal kaartvlakken van 1 km^2, in de grote stuifzandkomplexen nabij Lutten, Ossendrecht en Bergen op Zoom (figuur 4.3e, tabel 4.1). De stuifzandvormen blijken in dit Zuidwest-Nederlandse gebied overwegend de volgende oriëntatie te bezitten: N 50° - 85° / 230° - 265° E, met een overheersende oriëntatierichting van ca N 70° / 250° E. Hoewel het beperkte aantal waarnemingen nauwelijks een konklusie toelaat, kan toch gewezen worden op het iets hogere azimut voor de oriëntatie van de Zuidwest-Nederlandse stuifzandvormen, vergeleken met dat van de Veluwe.

		overheersende* windrichting / prevailing wind direction	spreiding* grootste deel windrichtingen / distribution major part wind directions	sekundaire* (overheersende) windrichting / secundary (prevailing) wind direction
periode 1951/60, snelheid > 7.5 m/sec. / period, velocity	jan.	N 230° E	N 200°-270° E	N 85° E
	febr.	N 220° E	N 190°-260° E	N 75° E
	mrt.	N 255° E	N 240°-280° E	N 80° E
	april	N 250° E	N 200°-340° E	N 40° E
	mei	N 270° E	N 220°-340° E	N 80° E
	juni	N 270° E	N 220°-290° E	N 90° E
	juli	N 250° E	N 220°-290° E	
	aug.	N 240° E	N 220°-270° E	
	sept.	N 225° E	N 200°-250° E	
	okt.	N 220° E	N 200°-250° E	
	nov.	N 200° E	N 150°-270° E	
	dec.	N 230° E	N 180°-270° E	
	jaar / year	N 240° E	N 200°-280° E	N 75° E
periode 1961/65, snelheid > 5 m/sec. / period, velocity	jan.	N 215° E	N 180°-250° E	N 60° E
	febr.	N 260° E	N 220°-320° E	N 70° E
	mrt.	N 250° E	N 230°-300° E	N 50° E
	april	N 240° E	N 210°-330° E	N 60° E
	mei	N 250° E	N 220°-330° E	
	juni	N 270° E	N 240°-320° E	
	juli	N 265° E	N 220°-310° E	
	aug.	N 250° E	N 220°-290° E	
	sept.	N 230° E	N 200°-270° E	
	okt.	N 210° E	N 190°-250° E	
	nov.	N 230° E	N 190°-260° E	N 60° E
	dec.	N 230° E	N 200°-260° E	N 60° E
	jaar / year	N 240° E	N 200°-280° E	N 60° E
	jaargem. / annual average	N 255° E	N 215°-265° E	(snelheid >10 m/sec.) (velocity)

periode 1961/1970, jaargemiddelden,
period , annual averages

± N 230° E	alle richtingen (alle snelheden) / all directions (all velocities)	
± N 215° E	alle richtingen (0-5 m/sec.) / all directions	
N 230° E	N 200°-260° E	(5-10 m/sec.)
N 245° E	N 215°-265° E	(> 10 m/sec.)

Ter vergelijking:
For comparison:

jaargemiddelden van de richting van de resulterende wind (alle windsnelheden) (volgens Van Straaten, 1961):
annual averages of the direction of the resultant wind (all wind velocities) (according to Van Straaten, 1961):

	N 249° E	- langs de kust / along the coast
	N 242° E	- 5-50 km landinwaarts / inland
	N 234° E	- > 50 km landinwaarts / inland
	N 226° E	- oostgrens Nederland / eastern frontier of The Netherlands
idem, station Goeree:	N 244° E	(Beaufort 1-5)
	N 258° E	(Beaufort 6-7)
	N 266° E	(Beaufort 8-12)

richting van de gemiddelde wind te Amsterdam volgens Labrijn:
direction of the resultant wind at Amsterdam according to Labrijn (1945):

N 240° E	- 1701-1730
N 239° E	- 1731-1760
N 251° E	- 1761-1790
N 249° E	- 1791-1820
N 247° E	- 1821-1850
N 241° E	- 1851-1880
N 238° E	- 1881-1910
N 227° E	- 1911-1940

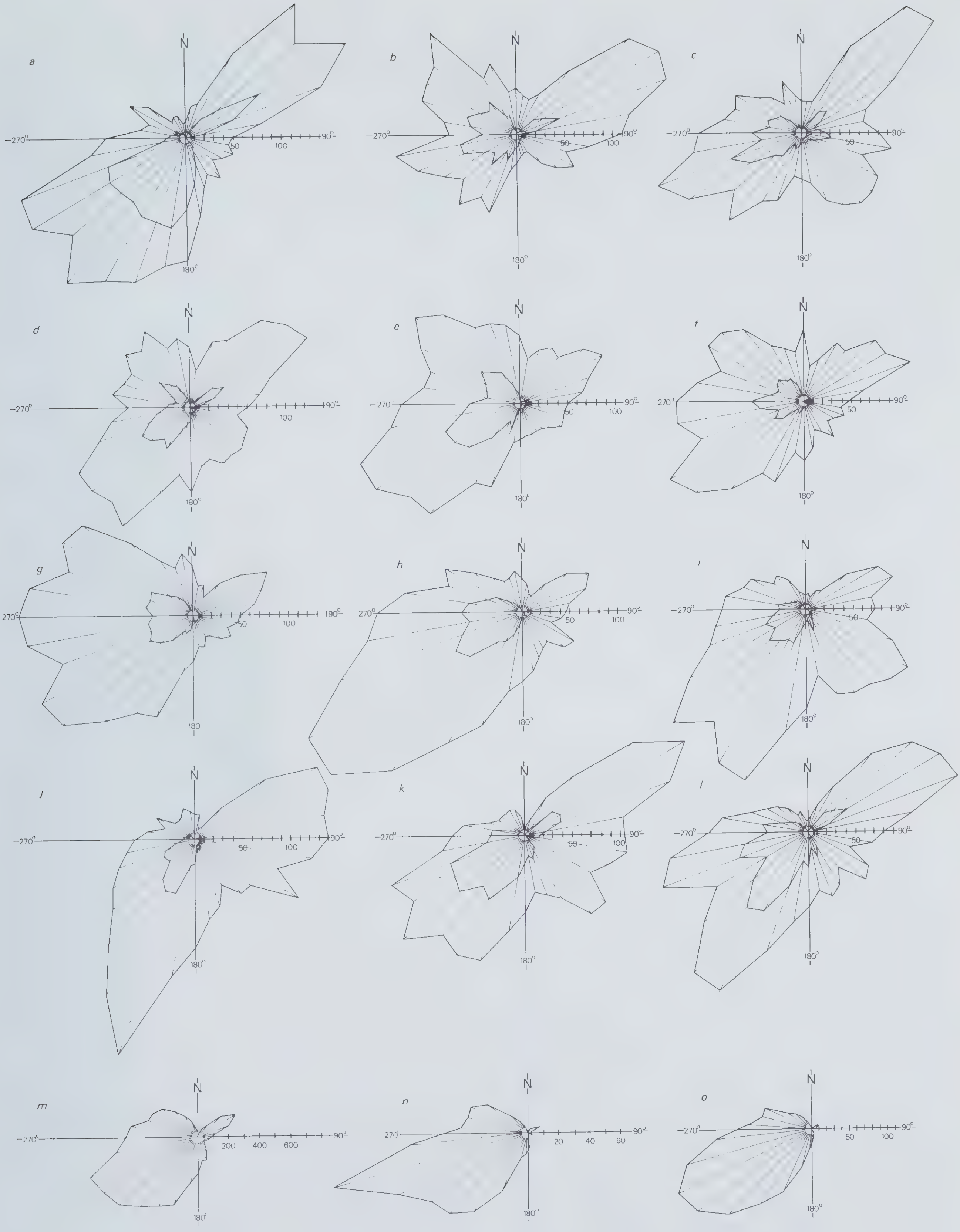
* zie toelichting in de tekst
see explanation in text

Tabel 4.2 Overheersende windrichtingen voor bepaalde windsnelheidsintervallen, Station Deelen (275)

Table 4.2 Prevailing wind directions for certain wind velocity intervals

Toelichting bij de gebruikte begrippen in tabel 4.1 en 4.2.

De in tabel 4.1 en 4.2 vermelde gegevens over de overheersende oriëntatie- respektievelijk windrichtingen, de spreiding van het grootste deel van de oriëntatie- respektievelijk windrichtingen, en het al dan niet voorkomen van sekundaire (overheersende) oriëntatie- respektievelijk windrichtingen zijn op de volgende wijze verkregen: de (in pooldiagrammen) meest voorkomende windrichtingen worden normaliter de 'overheersende' windrichtingen genoemd. Anders gesteld: de overheersende windrichting = de modus van de frequentieverdeling van de windrichtingen. De overheersende windrichting kan op deze wijze voor ieder gewenst windsnelheidsinterval bepaald worden. De 'gemiddelde' of 'resulterende' wind wordt bepaald met behulp van de frequentieverdeling van de windweg, die het produkt is van de gemiddelde windsnelheid per windrichting en de tijd gedurende welke die windrichting is voorgekomen. De door vektorsommatie van de frequentieverdeling van de windweg verkregen richting wordt de richting van de resulterende wind genoemd. In deze studie worden de begrippen 'overheersende' oriëntatie- en windrichtingen gebruikt en opgevat als de geschatte resulterende oriëntatie- en windrichtingen binnen het spreidingsgebied van het grootste deel van de voorkomende oriëntatie- en



Figuur 4.4
Frequentieverdelingen van de windrichtingen in afhankelijkheid van de windsnelheden; langs de horizontale as staat het aantal waarnemingen (uurwaarden) vermeld; buiterste lijnen – alle windsnelheden, binnenste lijnen – windsnelheden >5 m/sec.; Station Deelen, waarnemingsperiode 1961/65
Frequency distributions of the wind directions according to wind velocity; the number of observations (hourly values) is indicated along the horizontal axis; outermost lines – all wind velocities, innermost lines – wind velocities >5 m/sec.; Station Deelen (Veluwe), observation period 1961/65
a-l - januari-december/January-December, m - gehele jaar/all year, >5 m/sec., n - gehele jaar/all year, >10 m/sec., o - gehele jaar/all year, >10 m/sec., waarnemingsperiode/observation period 1961/1970

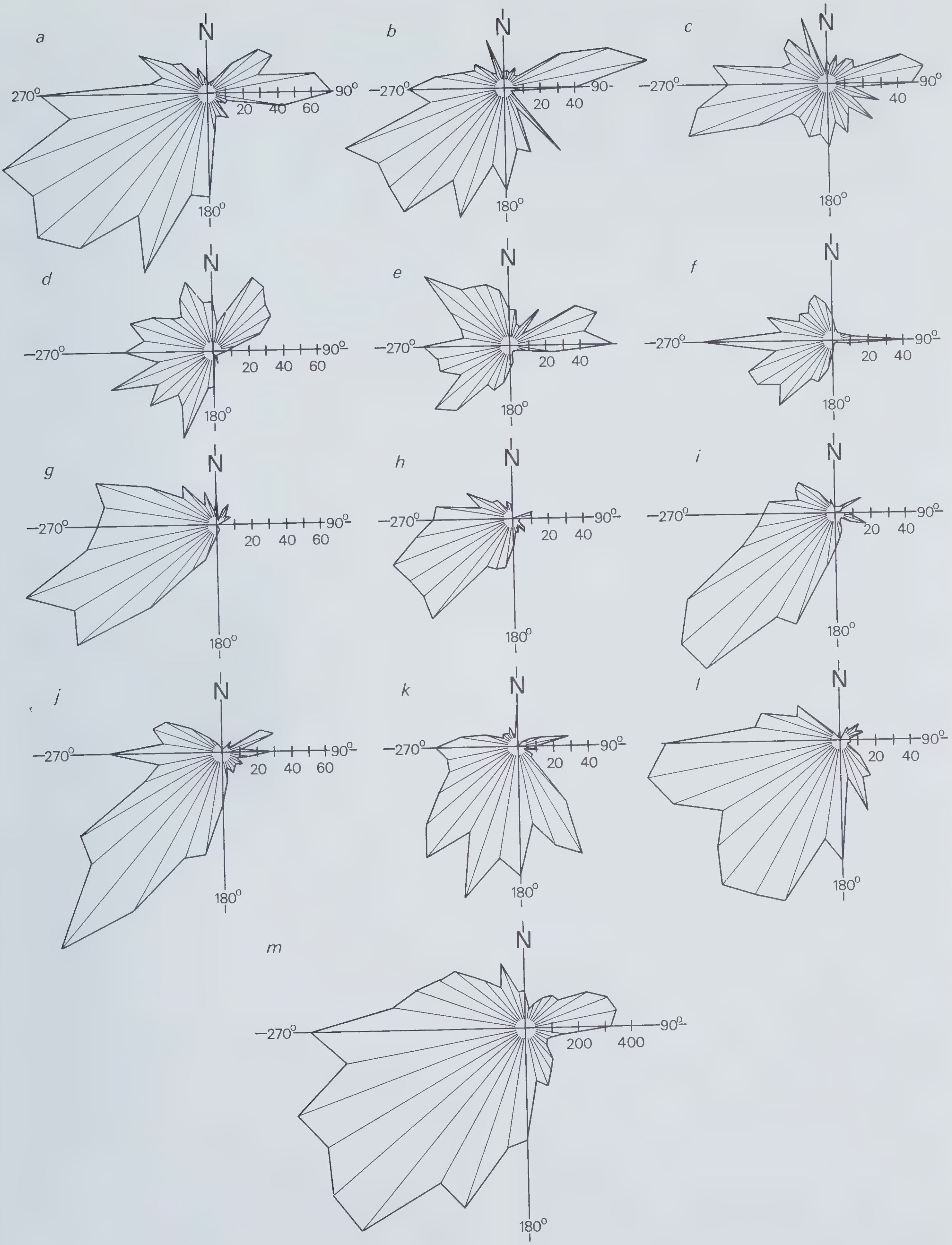
windrichtingen. Onder 'spreiding van het grootste deel' van de oriëntatie- en windrichtingen wordt hier verstaan dat > ca 75% van alle gemeten richtingen vallen binnen het vermelde trajekt. De op deze wijze gedefiniëerde overheersende oriëntatie- en windrichtingen worden onderling vergeleken, waarbij er vanuitgegaan wordt dat, vooral bij hogere windsnelheden wanneer het grootste deel van het zandtransport optreedt, een verband bestaat tussen deze overheersende en de (werkelijke) richtingen van de resulterende wind. De waarde van de aldus benaderde richtingen van de resulterende wind is gebaseerd op de veronderstelling, dat de meest voorkomende richtingen ook de grootste gemiddelde windsnelheden hebben. De windrichtingfrequenties worden aldus als een maat voor de windwegfrequenties beschouwd. Ten aanzien van de bepaling van de frequentieverdelingen van de oriëntatierichtingen kan in navolging van het bovenstaande opgemerkt worden, dat het theoretisch juister geweest was de frequentieverdelingen van het produkt van richting en lengte van de stuifzandvormen te bepalen. Onder het begrip 'sekundaire' (overheersende) oriëntatie- of windrichting wordt in deze studie het volgende verstaan. Indien in de pooldiagrammen buiten het spreidingsgebied van het grootste deel van de richtingen nog een tweede koncentratie van richtingen herkenbaar is, is hiervan wederom de geschatte resulterende richting bepaald.

4.3 Frequentieverdeling van de windrichtingen in relatie tot het zandtransport

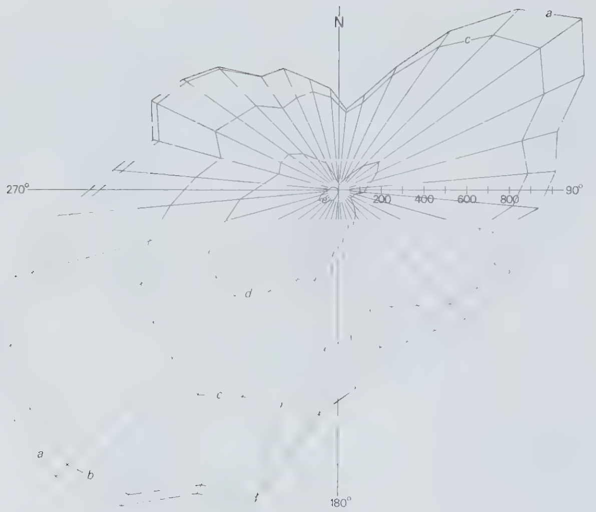
Indien de veronderstelling, dat het grootste deel van de georiënteerde stuifzandvormen parallel aan de overheersende windrichting is afgezet, juist is, dan moeten de gevonden oriëntatierichtingen nauw verband houden met de overheersende windrichtingen c.q. zandtransportrichtingen in deze gebieden. Met behulp van gegevens van het station Deelen (275) — het enige Veluwse station waar kontinue windwaarnemingen zijn verricht — is de windrichtingverdeling bepaald voor diverse tijdvakken in dit deel van Nederland. Hiertoe zijn de volgende gegevens (ter beschikking gesteld door het K.N.M.I.) gebruikt: a. de frequentieverdeling met twee ingangen waarin de uurwaarden van de windrichting (in intervallen van tien graden) en de uurwaarden van de windsnelheid (in knopen) zijn gegeven, jaargemiddelden voor de periode 1961 t/m 1970; b. idem, maandgemiddelden voor de periode 1951 t/m 1960; c. idem, maandgemiddelden voor de periode 1961 t/m 1965. Er zijn nieuwe frequentieverdelingen van de windrichting gemaakt waarbij de windsnelheid in de volgende intervallen is ondergebracht: 0-5 m/sec., 5-10 m/sec., > 10 m/sec. en alle snelheden voor de perioden 1961 t/m 1970 en 1961 t/m 1965; 0-7,5 m/sec. en > 7,5 m/sec. voor de periode 1951 t/m 1960. De frequentieverdelingen van de windrichting in afhankelijkheid van de onderscheiden windsnelheidsintervallen zijn per maand uitgezet in pooldiagrammen (figuren 4.4 en 4.5). De frequentieverdelingen van de windrichting als jaargemiddelden voor de waarnemingsperiode 1961 t/m 1970 voor een aantal snelheidsintervallen zijn samengevat in figuur 4.6.

De in de frequentieverdelingen gekozen snelheidsintervalwaarden van 5, 7,5 en 10 m/sec. zijn om de volgende redenen gekozen: volgens gegevens van Bagnold (1954), Sundborg (1955) en Snacken (1956) kan transport van droog, los, overwegend in de fraktie 150-300μm gelegen zand globaal optreden bij windsnelheden vanaf 5 à 6 m/sec., gemeten op een hoogte van 1 à 2 m boven het oppervlak. Volgens Bagnold (1954) is het windtransport evenredig met de tot de derde macht verheven snelheid. De windsnelheid is overigens praktisch nul op een uiterst geringe hoogte, afhankelijk van de textuur van het aan de oppervlakte liggende materiaal, en neemt logaritmisch toe met de hoogte (Bagnold, 1954; Cooke & Warren, 1973). Volgens Sundborg (1955) en Seppälä (1974) zijn de kort durende maximale windsnelheden het belangrijkste voor de totale hoeveelheid zandtransport. De Ploey (1976), die metingen van zandtransport en daarbij behorende windsnelheden verrichtte op verschillende hoogten boven het oppervlak in een aktief stuifzandgebied, nam waar dat zandtransport slechts plaats vindt tijdens enkele korte verstuivingsfasen. Ze worden gekenmerkt door hoge windsnelheden die enkele malen per jaar voorkomen. De minimale windsnelheid waarbij zandtransport over een nat zandoppervlak kan optreden is overigens slechts weinig hoger dan die voor een droog zandoppervlak. Bij hogere windsnelheden die samenvallen met min of meer stabiele kondities en een konstant temperatuurverloop met de hoogte, zal de windsnelheid logaritmisch met de hoogte toenemen, althans tot ca 10 m hoogte. Omdat de windsnelheden bij het station Deelen gemeten zijn op een hoogte van 10 m boven het oppervlak, is een snelheidsinterval van 7,5 m/sec. onderscheiden, dat in een neutraal opgebouwde atmosfeer globaal overeenkomt met een snelheid van ca 5 m/sec. op 1,5 m hoogte. Van de zeer weinig voorkomende, maar voor zandtransport waarschijnlijk belangrijke, hoogste windsnelheden is eveneens de frequentieverdeling bepaald voor windsnelheden van > 10 m/sec. De gegevens van de frequentieverdelingen van de windrichtingen zijn samengevat in tabel 4.2.

Uit de gegevens over de spreiding van



Figuur 4.5.
Frequentieverdelingen van de windrichtingen bij windsnelheden van >7,5 m/sec.; langs de horizontale as staat het aantal waarnemingen (uurwaarden) vermeld; Station Deelen, waarnemingsperiode 1951/60
Frequency distributions of the wind directions for wind velocities of > 7.5 m/sec.; the number of observations (hourly values) is indicated along the horizontal axis; Station Deelen (Veluwe), observation period 1951/60
a-l - januari-december/January-December, m - gehele jaar/all year



Figuur 4.6
Frequentieverdelingen van de windrichtingen in afhankelijkheid van de windsnelheden; langs de horizontale as staat het aantal waarnemingen (uurwaarden) vermeld; Station Deelen, waarnemingsperiode 1961/70
Frequency distributions of the wind directions according to wind velocity; the number of observations (hourly values) is indicated along the horizontal axis; Station Deelen (Veluwe), observation period 1961/70
a - alle snelheden/all velocities, b - 0-10 m/sec., c - 0-5 m/sec., d - 5-10 m/sec., e - > 10 m/sec.

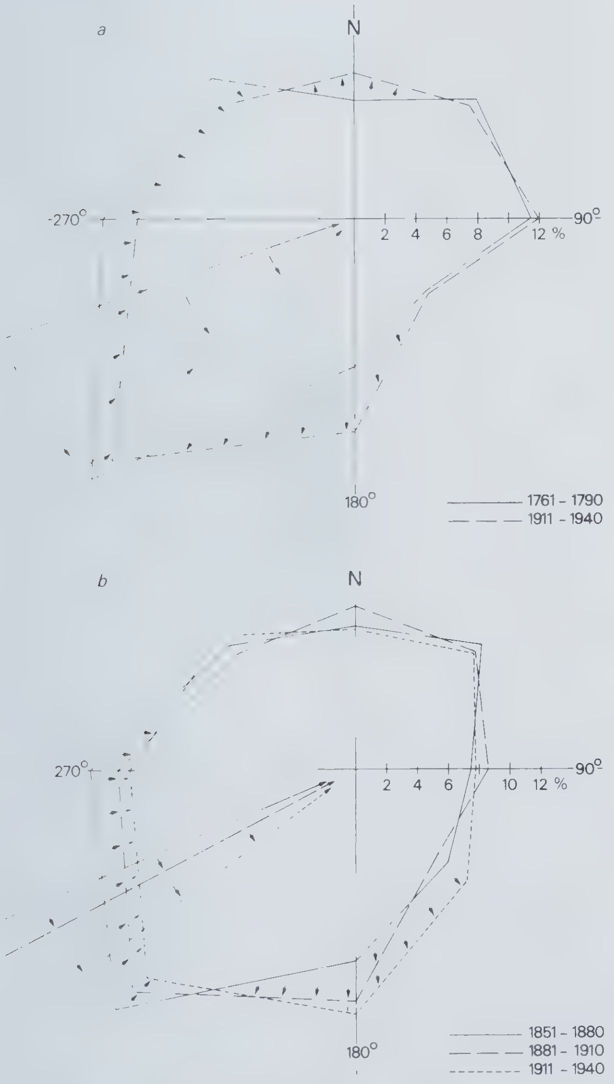
het grootste deel van de windrichtingen en de overheersende windrichtingen (jaargemiddelden) blijkt dat bij windsnelheden van > 7,5 m/sec. (1951-1960), waarbij zandtransport mogelijk is, en speciaal bij windsnelheden van > 10 m/sec. (1961-1970), waarbij het belangrijkste zandtransport plaats zal vinden, de overheersende windrichtingen van N 240° E, resp. N 245° E nauw overeenkomen met de gevonden overheersende oriëntatierichtingen van de Veluwse stuifzandvormen en -gebieden. Hoe hoger de gemiddelde windsnelheid is, deste lager wordt de spreiding in de windrichting. Tevens geldt dat de hoogste waarden voor het azimut van de overheersende windrichtingen gevonden worden in het hoogste snelheidsinterval. In het snelheidsinterval van 5-10 m/sec. kunnen ook langer aanhoudende, NO tot O-winden, vooral in het voorjaar, een aandeel hebben in het totale zandtransport, in een tegenovergestelde richting ten opzichte van de 'normale' transportrichting (sekundaire (overheersende) windrichtingen variërend van N 50° tot 90° E.

Volgens Snacken (1956) wordt langs de Belgische kust aan de voorwaarden voor zandtransport vooral voldaan in het voorjaar met sterke noordoostelijke winden en een direkte insolatie (droog zand). Dit geldt volgens hem in het bijzonder voor de maand april. Peerlkamp (1970) en Knottnerus (1976) vermelden eveneens de maanden maart en april als belangrijkste periode waarin winderosie optreedt in hiervoor gevoelige bouwlanden in zandgronden. Bij bestudering van figuur 4.5 valt op, dat afgezien van de wintermaanden, speciaal in de maanden maart t/m mei (c, d en e) tamelijk veelvuldig noordoostelijke tot oostelijke winden met snelheden van > 7,5 m/sec. optreden. Het is dus mogelijk, dat voor het optreden van zandverstuivingen op de Veluwe inderdaad dezelfde konklusie getrokken mag worden. Bij windsnelheden van > 7,5 m/sec. voor de maanden juni t/m december en in nog sterkere mate bij snelheden van > 10 m/sec. (figuur 4.4n en o) komen praktisch uitsluitend ZZW tot WNW winden voor en valt het spreidingsgebied van voorkomende windrichtingen geheel samen met dat van de voorkomende oriëntatierichtingen van de stuifzandvormen (figuur 4.3). Wat betreft de maandelijkse frequentieverdelingen bij windsnelheden van > 5 m/sec. en > 7,5 m/sec. valt op, dat vooral de maanden juli t/m oktober gekenmerkt worden door een relatief geringe spreiding van de windrichtingen, die grotendeels samenvalt met het spreidingsgebied van de oriëntatierichtingen. De in de voorjaarsmaanden voorkomende hogere windsnelheden (> 7,5 m/sec.), behorende bij de NW winden, dragen kennelijk slechts in geringe mate bij tot de oriëntatie van de gemeten stuifzandvormen.

Volgens de kaartjes in de Klimaatatlas van Nederland (uitgegeven door het K.N.M.I. in 1972), waarop de gemiddelde windsnelheid in m/sec. voor het tijdvak 1958 tot 1969 staat aangegeven, zijn de maandgemiddelden voor de windsnelheid voor de noordelijke Veluwerand 0,5-1,5 m/sec. hoger dan voor de rest van de Veluwe. Hierbij vallen vooral de maanden maart en april op door een groot verschil. Hoewel hierover verder geen gegevens verzameld zijn, wordt verondersteld dat de gemiddeld grotere hoogten van de Noord-Veluwse stuifzandheuvels, vergeleken met die op de rest van de Veluwe, hiermee verband houden. Gegevens over mogelijke verschillen in de verdeling van de windrichtingen tussen de Noord-Veluwe en de rest van de Veluwe zijn niet beschikbaar.

Een nog niet in de beschouwing betrokken faktor bij de gemaakte vergelijkingen tussen recente gegevens over de frequentieverdeling van de windrichtingen en de oriëntatie van stuifzandvormen, is de ouderdom van de stuifzandvormen. De in aktieve stuifzandgebieden gemeten oriëntaties, waar de ouderdom van de vormen in feite nul is, kunnen zonder meer vergeleken worden met de frequentieverdeling van de windrichtingen. De door vegetatie vastgelegde stuifzandvormen hebben voor het grootste deel, voor wat betreft hun huidige oriëntatie, echter een minimale ouderdom van één tot enkele eeuwen. Labrijn (1945), die het klimaat van Nederland gedurende de laatste tweeëneenhalve eeuw be-

spreekt, vermeldt dat de richting van de gemiddelde wind in de periode 1701 tot 1940 over het algemeen gekrompen is. Deze krimping van de windrichting hangt volgens hem ten nauwste samen met een vermindering van het verschil tussen de gemiddelde zomer- en wintertemperatuur (toegenomen oceanische invloed). Vooral in de wintermaanden vertoont de windrichting over deze periode een toename uit Z-richting, ten koste van de W- en ZW-richtingen. Ook de N-richting laat een kleine toename zien. De door hem verzamelde gegevens over de richting van de gemiddelde wind in Amsterdam en De Bilt over de periode 1701 tot 1940, resp. 1851 tot 1940 staan in tabel 4.2 en figuur 4.7a en b. De gevonden waarden van de oriëntatie van de Veluwse stuifzandvormen (N 65° / 245° E) komen het meest overeen met de azimutwaarden in de periode 1750 tot 1850. Op grond van de gegevens van Labrijn (1945) zou verwacht kunnen worden, dat het azimut van de overheersende oriëntatierichtingen in aktieve stuifzanden gemiddeld iets lager is dan in reeds langere tijd door vegetatie vastgelegde stuifzandgebieden. Bij gebrek aan voldoende gegevens kan dit echter niet gekontroleerd worden.



Figuur 4.7
Gemiddelde frequentieverdelingen van de windrichtingen (samengesteld naar gegevens van Labrijn, 1945); de pijlen geven de verschuivingen in de frequentieverdelingen in de loop van de opgegeven tijdvakken weer en tevens het krimpen van de richting van de gemiddelde wind
Average frequency distributions of the wind directions (compiled after data from Labrijn, 1945); the arrows indicate the shifting in the frequency distributions in the course of the given periods and at the same time the backing of the direction of the average wind
a - Station Amsterdam, b - Station Utrecht-De Bilt

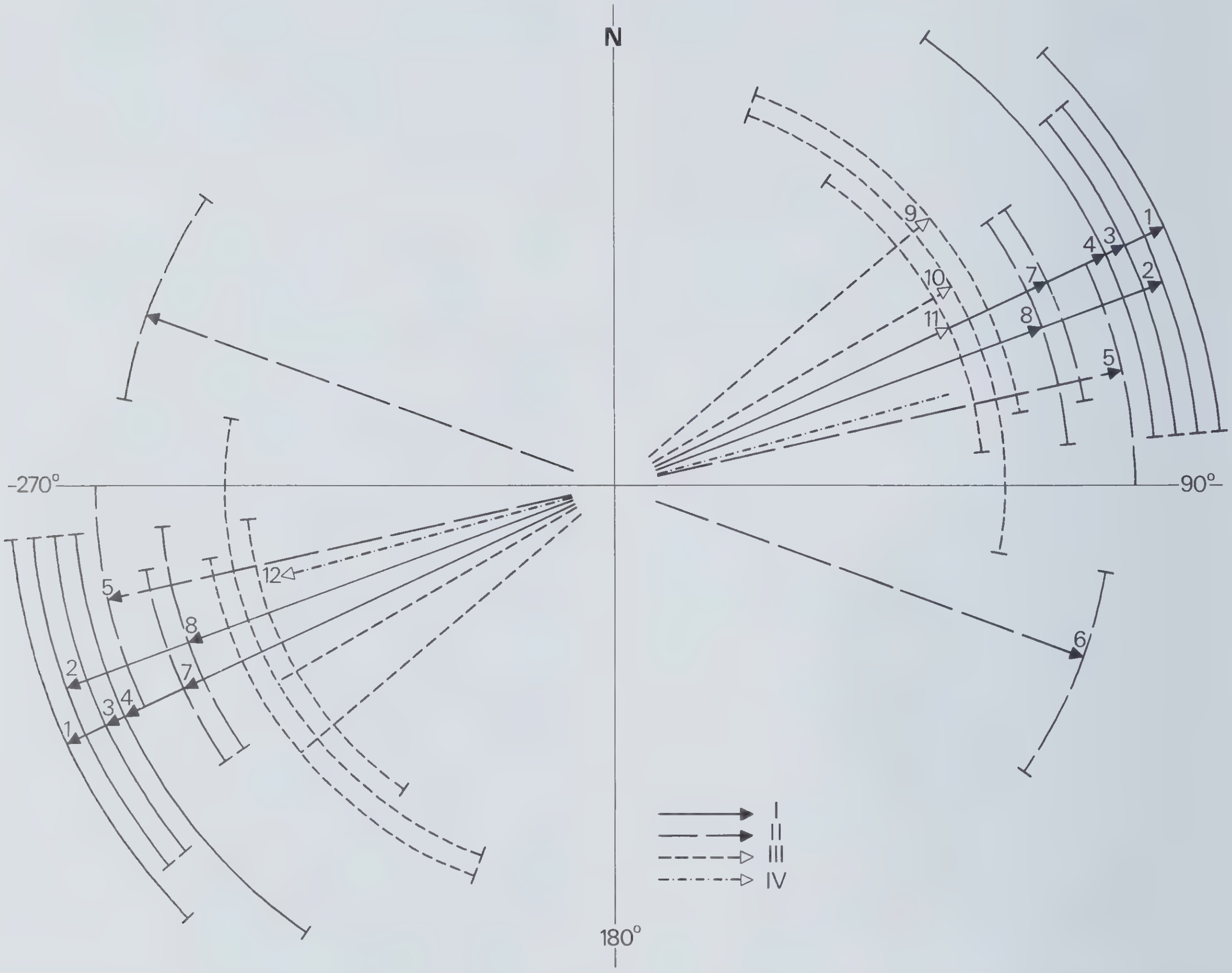
4.4 Vergelijking met de oriëntatie van dekzandvormen en kust- en landduinen

Het is mogelijk de thans gevonden oriëntatiegegevens van stuifzandvormen te vergelijken met die van dekzandvormen en kust- en landduinen in Nederland. Onderzoek naar de oriëntatie van veelal paraboolvormige dekzandruggen is verricht door Maarleveld (1960); Maarleveld & Van der Schans (1961) en Van der Sluys & Maarleveld (1963). Het grootste deel van de dekzandruggen in de Gelderse Vallei, overwegend bestaande uit Jonger Dekzand I, heeft een oriëntatie variërend van N 100°-125° / 280°-305° E. De in Zeeuws-Vlaanderen voorkomende dekzandruggen hebben een hiervan afwijkende overheersende oriëntatierichting van ca N 65°/245° E (tabel 4.1.) In het laatste geval betreft het dekzandruggen, overwegend van Jonger Dekzand II, stammend uit de Jonge Dryastijd. Deze oriëntatierichting komt verrassend veel overeen met de gevonden oriëntatie van de stuifzandvormen en de frequentieverdelingen voor de windsnelheidsintervallen > 7,5 en > 10 m/sec.

Van der Sijp (1952) geeft als belangrijkste oriëntatierichting van de Noordoost-Veluwse, destijds als osar gekarteerde zandruggen N 70° / 250° E aan. De oriëntatierichtingen van de op geologische kaarten (schaal 1:50.000) van de gehele Veluwe aangegeven zandrug-(osar) systemen en onderdelen daarvan, die thans als landduinen worden geïnterpreteerd, zijn globaal bepaald en in een pooldiagram getekend (figuur 4.3d). Hier blijkt eveneens een overheersende oriëntatierichting van ca N 70° / 250° gevonden te worden; het grootste deel heeft een oriëntatie variërend van N 55°-85° / 235°-265° E, overeenstemmend met de gegevens van Maarleveld (1960).

De Jonge kustduinen in West-Nederland bezitten een overheersende oriëntatierichting van N 75°-80° / 225°-260° E overeenkomend volgens Van Straaten (1961) met de richting van de resulterende wind behorend bij windsnelheden van > 8 m/sec. (Vergelijk gegevens station Goeree, tabel 4.2). De gemeten en de uit de literatuurgegevens samengestelde oriëntatierichtingen van Nederlandse windafzettingen zijn in sa-

menhang met de gegevens over de overheersende windrichtingen voor het station Deelen samengevat in figuur 4.8. Afgezien van reeds besproken, geringe onderlinge verschillen in oriëntatie komt hierin de dominantie van WZW-ONO georiënteerde duinvormen in Nederland als gevolg van zandtransport tijdens hoge windsnelheden overduidelijk tot uitdrukking.



Figuur 4.8
Samenvatting van gemeten oriëntatierichtingen van Nederlandse stuif- en dekzandvormen en land- en kustduinen, in relatie tot overheersende windrichtingen voor het Station Deelen; de getekende cirkelsegmenten geven het traject aan waarbinnen het grootste deel (> ca 75%) van de gemeten oriëntatierichtingen en bepaalde windrichtingen valt
Compilation of measured orientation directions of drift and cover sand forms, and inland and coastal dunes in The Netherlands, in relation to prevailing wind directions at the Station Deelen (Veluwe); most (> app. 75%) of the measured orientation directions and determined wind directions occur within the circle segments

I - overheersende oriëntatierichtingen van stuifzandvormen/prevailing orientation directions of drift sand forms; 1 - sommatie stuifzandvormen op de Veluwe/total for drift sand forms in the Veluwe, 2 - sommatie stuifzandvormen in Zuidwest-Nederland/total for drift sand forms in the southwestern part of the Netherlands, 3 - stuifzandgebieden op de Veluwe/drift sand areas in the Veluwe, 4 - stuifzandgebieden in Nederland/drift sand areas in The Netherlands

II - overheersende oriëntatierichtingen van dekzandvormen en land- en kustduinen/prevailing orientation directions of cover sand forms and inland and coastal dunes; 5 - Jonge kustduinen/Younger coastal dunes, 6 - dekzandvormen (Jonger Dekzand I) in Midden-Nederland/cover sand forms (Older Dryas) in the central part of The Netherlands, 7 - dekzandvormen (Jonger Dekzand II) in Zuidwest-Nederland/cover sand forms (Younger Dryas) in the southwestern part of The Netherlands, 8 - laat-glaciale landduinen (pseudo-osar) op de Veluwe/Late Glacial inland dunes (pseudo-osar) in the Veluwe

III - overheersende windrichtingen (primair)/prevailing wind directions (primary); 9 - 5-10 m/sec. periode/period 1961/70, 10 - > 7,5 m/sec. periode/period 1951/60, 11 - > 10 m/sec. periode/period 1961/70

IV - overheersende windrichting (secundair)/prevailing wind direction (secondary); 12 - > 7,5 m/sec. periode/period 1951/60

5 KORRELGROOTTE

5.1 Inleiding

Er zijn vele faktoren die van invloed zijn op de korrelgrootteverdeling van zanden tijdens eolisch transport. Dankzij het grote verschil in soortelijk gewicht van lucht en zand (ca 1:2000) en de hoge transportsnelheden werkt materiaaltransport door de wind sterk selektief. Dit transport kan rollend, in saltatie en in suspensie plaatsvinden, waarbij iedere transportwijze gekenmerkt wordt door eigen snelheden (roll. < salt. < susp.), afhankelijk van de windsnelheid en de ruwheid van het oppervlak. Het grootste deel van het zandtransport vindt plaats door saltatie, terwijl de hoeveelheid rollend getransporteerd materiaal veelal gering is. Afhankelijk van het uitgangsmateriaal bedraagt dit laatste meestal globaal éénderde van de hoeveelheid salterend zand (Bagnold, 1954). Op de transportwijzen van materiaal < 50 µm en > 2000 µm wordt, omdat deze frakties in stuifzanden niet of nauwelijks voorkomen, niet ingegaan. De invloed van de dichtheid van het materiaal en de korrelvorm op de selektie wordt besproken in de hoofdstukken 6 en 7.

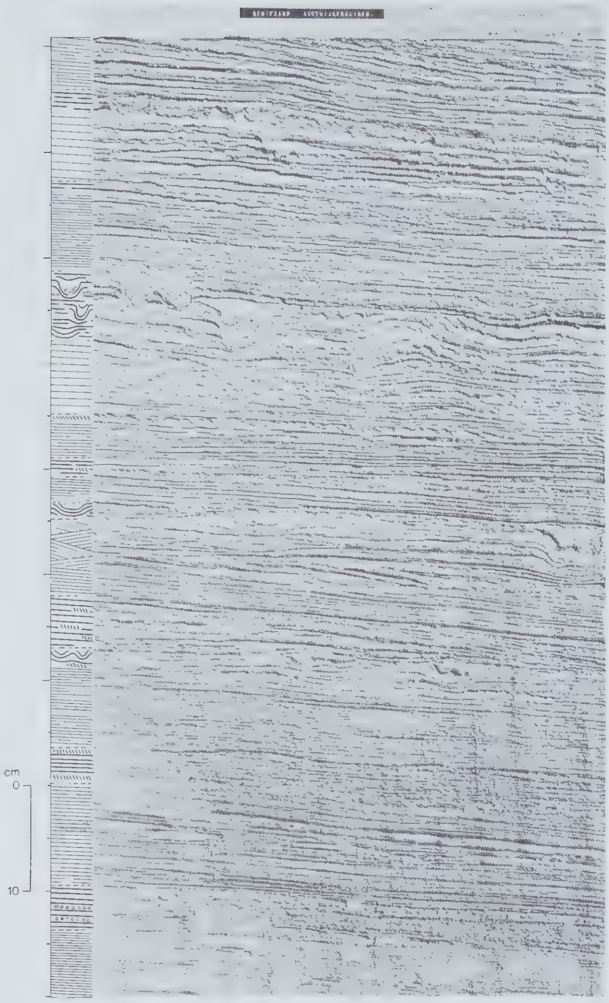
Het proces van saltatie wordt in het kort uiteengezet, omdat dit de verschillende wijzen van korrelselektie in zandige windafzettingen voornamelijk bepaalt (Bagnold, 1954; Sindowski, 1956). De wind oefent op zandkorrels een zekere sleepkracht uit. Zodra deze een kritische waarde bereikt komen de zandkorrels in een aanvankelijk alleen rollende beweging. Dit stadium kan bij grote windsnelheidsfluktuaties overigens zeer kort zijn. Als de windsnelheid verder toeneemt gaan sommige korrels kleine sprongetjes maken, waarbij de korrels op enige hoogte boven de grond een horizontale versnelling krijgen tengevolge van de hogere windsnelheid op deze hoogte. Hierdoor is de snelheid waarmee de korrels weer op het oppervlak neerkomen groter dan de aanvangssnelheid. Bij het neervallen zullen de korrels terugkaatsen en een weer gemiddeld hogere en grotere sprong (spronghoogte: spronglengte = 1:6) maken of andere korrels wegschieten. De inslaande salterende korrels kunnen eveneens grotere korrels aan het rollen brengen (reptatie). Op de korrels werkt behalve de sleepkracht ook de wrijvingskracht van de lucht en de zwaartekracht. Hierdoor bewegen de salterende korrels zich volgens een kogelbaan met een opstijghoek variërend van 30° tot 70° en een inslaghoek variërend van 2° tot 15° (Sindowski, 1956). De bewegende massa korrels is op haar beurt weer van invloed op de windsnelheidsverdeling in de vertikaal, c.q. verhoogt de bodemruwheid. Uiteindelijk ontstaat bij dit zichzelf aanvankelijk versnellende proces een evenwicht tussen windsnelheid en het aantal salterende korrels, echter met dien verstande, dat de getransporteerde zandhoeveelheden met de spronghoogte van de zandkorrels snel afnemen. De spronghoogten en -lengten bedragen zelden meer dan 1 respektievelijk 10 m (Peerlkamp, 1970). Volgens Peerlkamp (1970) en Knottnerus (1976) wordt deze evenwichtssituatie reeds bereikt na een afstand van 15 à 20 m.

Een grote korrelgroottespreiding van het herkomstmateriaal werkt winderosie tegen. De fijne deeltjes worden uitgeblazen en al spoedig blijft een residu van grof materiaal aan de oppervlakte achter, dat verder transport verhindert. Deeltjes > 5 à 10 mm worden in zandige windafzettingen, mits op andere wijze geen bijmenging met grof materiaal is opgetreden, slechts zelden aangetroffen. Indien fijne grinddeeltjes voorkomen in zandige windafzettingen zijn ze gekoncentreerd in dunne laagjes en afgezet tijdens hoge windsnelheden, of vertegenwoordigen ze perioden van deflatie. De Ploey (1976), die metingen van materiaaltransport verrichtte in aktieve stuifzanden, konstateerde overigens, dat bij hoge windsnelheden ook de fijne grinddeeltjes (2-5 mm) salterend getransporteerd kunnen worden.

Alvorens de granulometrie van de Veluwse stuifzanden in relatie tot enige faktoren te bespreken, wordt het verband tussen korrelgrootteverdeling en de sedimentaire struktuur besproken, en wordt behandeld op welke wijze de analyseresultaten van de korrelgrootteverdelingen langs grafische wijze zijn verwerkt.

5.2 Textuur van duinzanden in relatie tot de sedimentaire struktuur

De Ploey (1961) benadrukt, dat bij vergelijking van korrelgrootteverdelingen — ook van materialen van één en dezelfde faciës — gelet moet worden op de sedimentaire struktuur. Monsters voor materiaalonderzoek, al of niet door middel van boringen verkregen, strekken zich meestal uit over 5 tot 20 cm dikke laagpakketten van het te onderzoeken sediment. Bij de normale monstername worden dus altijd mengmonsters verkregen van vele laminae en soms enkele sets of cosets tezamen. De aard en het aantal hiervan bepalen de uitslag van de korrelgrootte-analyse. Hieruit volgt dat het korrelgrootte-onderzoek, bij de normale wijze van bemonstering, wel toelaat sedimenten te typeren, maar dat interpretaties wat betreft (aerodynamische) transport- en afzettingskondities slechts in



Figuur 5.1
Lakprofiel van een stuifzandafzetting in de Kootwijkerduinen
Lacquer peel of a drift sand deposit in the Kootwijkerduinen

samenhang met struktuuronderzoek geformuleerd mogen worden.

Stuifzanden zijn fijn gelamineerde (vergelijk paragraaf 9.4.1) zandafzettingen (figuur 5.1). De laminae hebben onderling verschillende korrelgrootteverdelingen, afhankelijk van de windsnelheden tijdens afzetting (Doeglas, 1967, 1968; Glennie, 1970). De korrelgrootteverdelingen van mengmonsters zijn dan ook in feite gekombineerde korrelgroottefrequentieverdelingen van de samenstellende laminae. De sommatiekurven a.2 en a.3 in figuur 5.2 geven hiervan een illustratie. De kurven a.3 geven de korrelgrootteverdelingen aan van 1 à 2 cm dikke, uit min of meer uniforme laminae opgebouwde sets bestaande uit relatief fijn en grof stuifzand in een stuifzandprofiel in de Kootwijkerduinen. De kurven a.2 geven een drietal korrelgrootteverdelingen van deflatielaagjes (0 tot 2 cm - m.v.) in aktief stuifzand in het Mosselse Zand. De laatste bevatten tevens voor stuifzanden uitzonderlijk hoge percentages korrels > 2 mm ten opzichte van het totale gewicht van de monsters (2-23%).

De hier genoemde sommatiekurven laten in vergelijking met de overige mengkurven in figuur 5.2 zien welke grote verschillen in korrelgrootteverdeling binnen één stuifzandprofiel kunnen optreden.

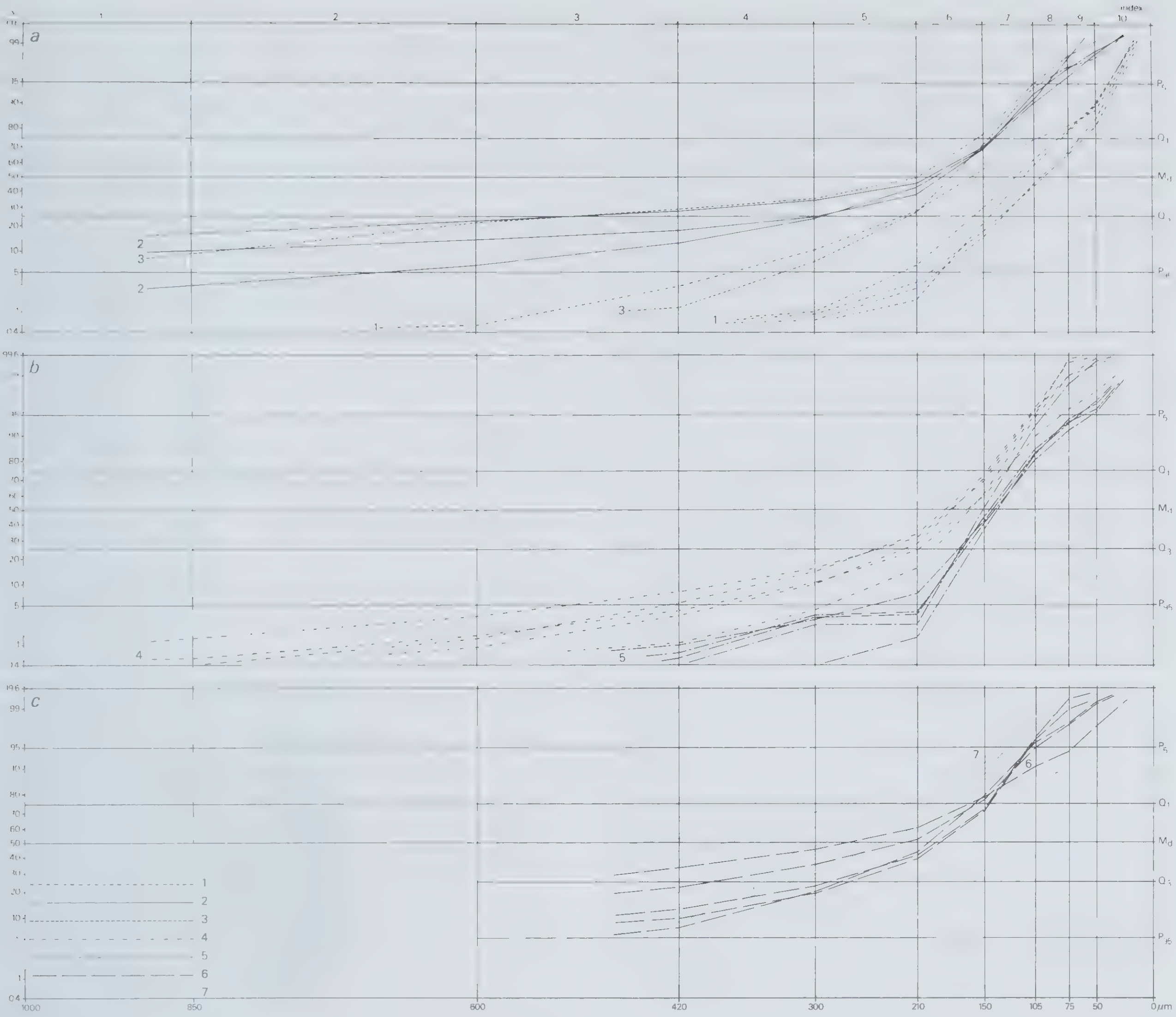
Met behulp van enige lakprofielen van stuifzanden is het aantal en de aard van voorkomende sets en laminae globaal bepaald. De stuifzandprofielen worden gekenmerkt door een min of meer regelmatige afwisseling van grovere, matig gelamineerde sets en fijnere, sterk gelamineerde sets. De individuele laminae zijn vooral in de fijnere sets goed herkenbaar en scherp begrensd. Het geïllustreerde, 90 cm dikke stuifzandprofiel (figuur 5.1), waarin ca 600 laminae met een gemiddelde dikte van ca 1,5 mm herkenbaar zijn, is als volgt opgebouwd:

	setdikte	aantal laminae	max. korrelgr.	mediaan (geschat)
fijne sets	ca 5-10 cm	6-9/cm	0,5-1 mm	150-210 µm
grove sets	ca 2- 6 cm	2-7/cm	2 -4 mm	210-300 µm

Deze waarden komen overeen met de door Folk (1971) genoemde laminae-dikte van 0,5 tot 2 mm op de distale helling van duinen. Volgens het 'soort zoekt soort' principe worden tijdens het transport van zand over de duintop en langs de distale helling bij bepaalde windsnelheden laminae gevormd met een (eigen) uniforme korrelgrootteverdeling.

De op de foto herkenbare geulvormige verstoringen van de horizontaal en soms zwak scheef gelaagde sets komen alleen voor in de sets bestaande uit grovere laminae. Hiermee in verband staan aan de bovenzijde van deze sets voorkomende 0,5 tot 1 cm dikke, grove deflatielaagjes. Vooral in de laminae, voorkomend in de fijne sets, kunnen symmetrische korrelgrootteverdelingen verwacht worden door de uniforme afzettingskondities (Doeglas, 1952).

Stuifzandafzettingen zijn voor het grootste deel min of meer horizontaal gelaagd. Scheef gelaagde eenheden bezitten veelal geringe hellingen (< 5°). In uitzonderingsgevallen, zoals in relatief steile en hoge randwalduinen en stuifdijken zijn scheef gelaagde sets met hellingen tot ca 30° waargenomen. De scheef gelaagde sets vertonen over het algemeen geen regelmatig geometrisch patroon en kunnen zelden over grote afstanden vervolgd worden. Belangrijke studies over sedimentaire strukturen in duinzanden zijn die van McKee (1966), Glennie (1970), Bigarella et al. (1970/1971) en Hunter (1977).



Figuur 5.2
Sommatiekurven van de korrelgrootteverdeling van stuifzanden
Cumulative curves of the grainsize distribution of drift sands
lokaties/locations: a.1 - Stroese Zand ('fijne' stuifzanden/'fine' drift sands), a.2 - Mosselse Zand (deflatielaagjes 0-2 cm - m.v./deflation layers 0-2 cm below surface), a.3 - Kootwijkerduinen (fijn en grof laagje uit één profiel/fine and coarse laminae from one profile), b.4 - Otterlose Bos, b.5 - Kootwijkse Bos, c.6 - Woeste Hoeve ('grove stuifzanden/'coarse' drift sands), c.7 - Terlet ('grove' stuifzanden/'coarse' drift sands)

5.3 Korrelgrootte-analysen

De korrelgrootteverdeling van enige honderden stuifzand- en dekzandmonsters is bepaald door middel van nat zeven van de frakties tussen 50 en 2000 µm, nadat de monsters een voorbehandeling hebben ondergaan met 6% H_2O_2, en eventueel 2M HCl en een peptisator (mengsel van $Na_4P_2O_7$ en Na_2CO_3), waarbij in de meeste gevallen uit is gegaan van 20 gram materiaal. De frakties < 50 um zijn samengenomen, omdat deze frakties slechts met zeer geringe gewichtspercentages voorkomen. Om dezelfde reden zijn de percentages van de frakties > 850 um, en in een aantal gevallen > 420 um samengevoegd in appendix 3a, waarin de korrelgrootteverdelingen van alle onderzochte monsters staan vermeld.

Voor de verwerking en presentatie van de analysegegevens is, mede op grond van de over dit onderwerp bestaande, omvangrijke literatuur, gekozen voor het grafisch uitzetten van de verdelingen, het bepalen van een aantal eenvoudige parameters, het rangschikken en groeperen van de aldus verkregen analysegegevens op grond van veldkriteria, en het vervolgens langs statistische weg (SPSS-programma's, SARA, computer Mathematisch Centrum, Amsterdam) toetsen van veronderstelde korrelaties, overeenkomsten en verschillen in het analysemateriaal.* Bij de hierna volgende bespreking van de wijze van grafische verwerking en de keuze van bepaalde parameters, is gebruik gemaakt van de volgende literatuur: Trask (1932), Krumbein & Petti-

*Dit is verricht in samenwerking met Drs. H. Struyk.

john (1938), Doeglas (1952), Inman (1952), Folk & Ward (1957), Mason & Folk (1958), Folk (1966, 1971), Friedman (1967), Koldijk (1968), Bigarella et al. (1969) en Depuydt (1972). Over de wijze van verwerking van granulometrische gegevens bestaat geen eenstemmigheid. Zowel de berekening van statistische parameters ('moment measures'), die bepaalde eigenschappen van korrelgrootteverdelingen karakteriseren, als de bepaling van grafische parameters, die afgelezen worden van sommatiekurven, brengen voor- en nadelen met zich mee. Een belangrijk voordeel van de grafische verwerkingsmethode is, dat alleen door het tekenen van de sommatiekurven, een goede indruk verkregen wordt van de totale korrelgrootteverdelingen en de daarin optredende variaties. Het nauwkeurig berekenen van ingewikkelde statistische parameters van natuurlijke sedimenten, die vervolgens gegroepeerd worden op (onvermijdelijk) onnauwkeurige veldkriteria, en meestal globaal uitgezet worden in de vorm van frequentiegrafieken en spreidingsdiagrammen, heeft weinig zin. De genetische interpretaties die geformuleerd worden op grond van deze spreidingsdiagrammen, waarin als het goed is de zo min mogelijk onderling afhankelijke parameters tegen elkaar uitgezet worden, blijven toch altijd globaal van aard. Voor deze argumentatie wordt verder verwezen naar Folk (1966), Friedman (1967), Doeglas (1967) en Buller en McManus (1972). De omrekening van de µm-waarden in ø-waarden is niet noodzakelijk indien alleen gewerkt wordt met eenvoudige grafische parameters. De berekeningen worden er niet eenvoudiger door en de gegevens zijn niet direkt te interpreteren.

Depuydt (1972) geeft aan de hand van analysen van een duizendtal duinzandmonsters een belangrijk overzicht van grafische korrelgrootteparameters en vergelijkt deze met de overeenkomstige waarden van de 'moment measures'. Hij komt tot de konklusie dat de grafisch bepaalde mediaan- en sorteringswaarden wel, maar de scheefheids- en gepiektheidswaarden minder nauwkeurig gekorreleerd zijn met de langs statistische weg berekende waarden. Inman (1952) stelt, dat de mate van korrelatie van de grafische parameters en de 'moment measures' afneemt bij een toenemende scheefheid van de korrelgrootteverdelingen. Hetgeen dus inhoudt, dat voor de hier onderzochte stuif- en dekzanden, waarvan zal blijken dat ze voor een belangrijk deel een min of meer symmetrische verdeling bezitten, de grafische parameters toch een redelijke benadering van de 'moment measures' vormen. De bezwaren van Koldijk (1968) tegen het gebruik van grafische parameters zijn dan ook vooral relevant bij het onderzoek van matig tot slecht gesorteerde zanden, en zanden met een sterk scheve verdeling.

Van alle door nat zeven bepaalde korrelgrootteverdelingen zijn sommatiekurven getekend, waarbij gekozen is voor een lineaire verdeling van de korrelgrootte in µm-waarden op de absis, en waarbij de gewichtspercentages op de ordinaat uitgezet zijn volgens de integraal van de waarschijnlijkheidsverdeling (Doeglas, 1952). Voor de onderzochte windafzettingen met geringe percentages zeer fijn materiaal (< 50 µm) wordt in de richting van de absis de voorkeur gegeven aan een lineaire verdeling boven de veel gebruikte logaritmische verdeling. De lineaire verdeling maakt een eenvoudige en tevens nauwkeurige aflezing van percentielen mogelijk. De veelal min of meer symmetrische verdelingen, althans voor het middelste deel van de korrelgrootteverdelingen van de onderzochte stuif- en dekzanden worden bij gebruik van de waarschijnlijkheidsverdeling in de richting van de ordinaat als rechte lijnstukken weergegeven. Relatief kleine verschillen in korrelgrootteverdelingen zijn bij gebruik van de waarschijnlijkheidsverdeling herkenbaar als verschillen in ligging en lengte van de rechte lijnstukken, en de grove of fijne 'staarten'. De grootte van de hellingshoek van het rechte middengedeelte van de kumulatiekurve met de absis kan beschouwd worden als een maat voor de sortering van het materiaal, hetgeen voor zandige windafzettingen, bij gebruik van een logaritmische verdeling volgens de absis, uitgewerkt is door Sindowski (1958), De Ploey (1961) en Depuydt (1964).

Van de sommatiekurven zijn de volgende percentielen afgelezen: P_{95} (95% fijner), Q_3 (75%), Md (50%), Q_1 (25%) en P_5 (5%) in µm-waarden. In die gevallen waar het gewichtspercentage van de grofste of de fijnste onderzochte fraktie > 5% bedroeg, zijn de grove, resp. fijne percentielen onbepaald gelaten, daar extrapolatie een te grote onnauwkeurigheid zou veroorzaken. Bij granulometrisch onderzoek verdient het om deze reden de voorkeur de korrelgrootteverdeling zodanig nauwkeurig te bepalen, dat gewichtspercentages < 5% bereikt worden aan de fijne en de grove kant van de verdeling, bij welke frakties dan ook. De vijf percentielwaarden zijn in navolging van Doeglas (1968, 1971) in gewijzigde vorm weergegeven in één getal, met behulp van indices voor de korrelgroottefrakties, waarbinnen de percentielwaarden vallen. De percentielen P_{95} en P_5 zijn als beste benadering van tweemaal de standaarddeviatie van het gemiddelde gekozen (Inman, 1952). De P_{95} en de P_5 zijn in de meeste gevallen nog nauwkeurig af te lezen van de sommatiekurven en vormen een betere indikatie voor de ligging van de grove en fijne 'staarten' van de verdelingen dan de P_{84} en

P_{16}. De P_{99} en P_1, die ook bij de berekeningen van grafische parameters gebruikt worden, zijn onbruikbaar vanwege de zelden bereikte mate van nauwkeurigheid van de berekende korrelgrootteverdelingen, terwijl bovendien de ligging van deze percentielen sterk wordt bepaald door toevallige omstandigheden.

Vervolgens zijn enige eenvoudige korrelgrootteparameters bepaald om de mate van sortering van het middelste deel en van de totale verdeling, de scheefheid en de gepiektheid aan te geven. De volgende parameters zijn berekend:

$So = \sqrt{Q_3/Q_1}$ = sortering ('sorting coëfficient'), naar Trask (1932)
$QDa = 1/2\ (Q_3 - Q_1)$ = rekenkundige kwartiel deviatie ('quartile deviation'), naar Krumbein & Pettijohn (1938)
$SOs = 1/2\ (P_{95} - P_5)$ = rekenkundige percentiel deviatie ('simple sorting measure'), naar Friedman (1967)
$Ska = 1/2\ (Q_3 + Q_1 - 2Md)$ = rekenkundige kwartiel scheefheid ('quartile skewness'), naar Inman (1952)
$\alpha s = P_{95} + P_5 - 2\ Md$ = rekenkundige percentiel scheefheid ('simple skewness measure'), naar Friedman (1967)
$\alpha l = \frac{P_{95} + P_5 - 2Md}{Q_3 - Q_1}$ = scheefheid ('inclusive graphic skewness'), gewijzigd naar Inman (1952), Folk & Ward (1957)
$Kg = \frac{P_{95} - P_5}{2{,}44(Q_3 - Q_1)}$ = gepiektheid ('inclusive graphic kurtosis'), naar Folk & Ward (1957)

Gezocht is naar eenvoudige parameters, die min of meer equivalent zijn aan veel gebruikte 'moment measures'. De So, QDa en Ska geven een maat voor de sortering, respektievelijk deviatie en (positieve of negatieve) scheefheid van het centrale deel van de verdelingen, terwijl de SOs en αs en αl betrekking hebben op de deviatie, respektievelijk scheefheid van de totale verdelingen.

Door sommigen wordt het bepalen van QDa en Ska als weinig zinvol beschouwd (Folk, 1966), aangezien deze parameters slechts een indruk geven van de centrale helft van de verdeling. In het geval van de sterk gesorteerde, meestal ééntoppige stuif- en dekzanden geldt echter dit bezwaar misschien minder, omdat verwacht kan worden dat naast eventuele verschillen in de 'staarten' van de verdelingen ook geringe verschillen in deviatie en scheefheid van de centrale helft kunnen optreden tezamen met verschillen in mediaan, die van betekenis kunnen zijn voor de typering van deze afzettingen.

Voor de meeste, wat het centrale deel betreft tamelijk symmetrisch verdeelde stuif- en dekzanden zal de mediaan niet veel afwijken van het gemiddelde. De $Mk = 1/3(Q_3 + Md + Q_1)$ (Folk & Ward, 1957) is meestal slechts weinig groter dan de Md. De $Mk1 = 1/5(P_{95} + Q_3 + Md + Q_1 + P_5)$ is daarentegen aanzienlijk groter dan de Md voor de onderzochte zanden. Dit verschil is deste groter naarmate de monsters grover zijn. De afwijkingen van de Md ten opzichte van de Mk1 zijn tevens een maat voor de scheefheid van de korrelgrootteverdelingen (Friedman, 1961). Volkomen symmetrische verdelingen hebben een scheefheid van nul. Positieve waarden van scheefheid wijzen op een 'staart' van grof materiaal, terwijl negatieve waarden wijzen op een 'staart' van fijn materiaal. Indien de scheefheid is bepaald aan de hand van ø-waarden, is dit juist andersom.

De kurtosis (mate van gepiekt zijn) van een normale verdeling bedraagt 1,00 omdat de 5 - 95% variatiebreedte = 2,44 x 25 - 75% variatiebreedte. Bij een $Kg > 1{,}00$ is het centrale deel van de korrelgrootteverdeling beter gesorteerd dan de 'staarten'.

Alle onderzochte monsters zijn vervolgens gerangschikt en samengenomen in 23 groepen, op grond van tijdens het veldonderzoek verkregen kriteria van aard van het materiaal, morfologische terreingesteldheid en regionale verbreiding (lokaties, zie appendix 1). Deze 23 monstergroepen zijn uiteindelijk samengevoegd in 5 hoofdgroepen. Per groep en per hoofdgroep zijn van alle percentielen en parameters de gemiddelde waarden, de standaarddeviaties en de variatiebreedten bepaald (tabel 5.1).

Teneinde na te gaan in hoeverre de bepaalde percentielen en parameters onderling gerelateerd zijn, zijn voor alle hoofdgroepen van alle percentiel- en parameterwaarden de korrelatie-koëfficiënten bepaald. In tabel 5.2 zijn de Spearman-korrelatie-koëfficiënten gegeven voor de hoofdgroepen D en E afzonderlijk, waarbij tevens de signifikantie van de berekende koëfficiënten aangegeven wordt. Op grond van deze tabel kunnen de volgende konklusies getrokken worden:

a. De variabelen P_{95}, Q_3, Md, Q_1 en P_5 zijn in hoge mate gekorreleerd; dit geldt meer naarmate de percentielen, die vergeleken worden, dichter bijeen liggen.
b. De variabelen QDa, SOs en Ska vertonen ten opzichte van de P_{95}, Q_3, Md, Q_1 en P_5 een in deze volgorde afnemende mate van korrelatie; onderling zijn de QDa, SOs en Ska sterk gekorreleerd (hoofdgroep E).
c. Hetzelfde (als in b) geldt voor de onderling sterk gekorreleerde variabelen αs en αl (hoofdgroep E).

(hoofd)-groep (main) group	lokatie location	P_{95}	Q_3	Md	Q_1	P_5	So	QDa	SOs	Ska	αs	α1	Kg	
1	Otterlose Bos, n=10, index=45678 stuifzand, drift sand	341	211	170	139	102	1.23	36	119.5	+5.2	+103	+1.32	1.40	m
		88	22	11	7	10	0.05	9	44	4.2	76	0.70	0.18	s
		253-522	187-245	153-185	126-147	81-112	1.17-1.31	25.5-50.5	73-208.5	+0.5-13.5	+26-267	+0.30-2.64	1.17-169	v
2	Otterlose Bos, n=10, index=46678 stuifzand, top randwalduin, drift sand, top bordering dune ridge	327	208	170	140	103	1.21	34	112	+3.5	+91	+1.30	1.35	m
		43	17	10	8	10	0.04	7	22	3.6	32	0.26	0.07	s
		277-413	188-245	151-184	125-147	84-114	1.15-1.28	27.5-49	84.5-153.5	0-12	+45-151	+0.80-1.59	1.23-1.47	v
3	Otterlose Bos, n=8, index=35678 dekzand, cover sand	462	211	164	130	80	1.27	41	191	+6.3	+213	+2.43	1.86	m
		186	21	9	7	11	0.04	8	93.5	4.8	175	1.55	0.60	s
		322-805	197-257	157-182	123-142	62- 93	1.22-1.34	33-57.5	119.5-356	+1.5-17.5	+81-534	+1.17-5.19	1.39-3.05	v
4	Otterlose Bos, n=9, index 45677 stuifzand, onderaan loefzijde randwalduin drift sand, stoss-side base bordering dune ridge	368	228	176	142	106	1.26	42.5	130.5	+9	+122	+1.39	1.25	m
		66	29	16	10	11	0.04	10	28	3.7	48	0.34	0.11	s
		291-470	197-264	157-193	131-155	89-121	1.22-1.32	32.5-56.5	97-176	+4.5-14.5	+62-201	+0.91-1.87	1.12-1.51	v
5	Otterlose Bos, n=10, index=45677 stuifzand, halverwege loefzijde randwalduin drift sand, stoss-side half-way up bordering dune ridge	382	243	187	150	116	1.27	46	133	+10	+124	+1.30	1.17	m
		58	25	12	10	6	0.05	10	29	4.6	46	0.27	0.07	s
		307-458	206-268	169-201	140-168	109-127	1.21-1.34	33-59	99-173	+4-16	+57-192	+0.75-1.66	1.07-1.27	v
6	Otterlose Bos, n=10(9), index=45677 stuifzand, top randwalduin, drift sand top bordering dune ridge	344	218	177	146	111	1.24	36	117	+4.9	+98	+1.30	1.32	m
		66	27	13	10	7	0.08	9	32	5.8	53	0.37	0.10	s
		254-500	188-272	158-199	129-164	102-127	1.18-1.45	26.5-54	76-186.5	0-19	+40-229	+0.75-2.12	1.17-1.41	v
7	Otterlose Bos, n=10, index=45678* stuifzand, lijzijde randwalduin, drift sand, lee-side bordering dune ridge	377	228	177	142	90	1.26	43	144	+8.4	+113	+1.30	1.41	m
		71	40	23	18	22	0.05	13	30	6.7	52	0.42	0.20	s
		262-474	176-307	142-216	117-175	53-112	1.21-1.36	29.5-71	100.5-182.5	+2.5-20	+39-208	+0.66-2.14	1.05-1.79	v
8	Otterlose en Mosselse Zand, n=27, index= 46678, stuifzand drift sand	322	203	162	133	94	1.23	34	114	+4.6	+89	+1.25	1.34	m
		53	18	11	7	11	0.04	7	26	2.7	38	0.38	0.12	s
		230-454	175-253	146-181	122-145	72-115	1.17-1.36	24.5-58	69.5-187.5	+0.5-14	+22-171	+0.44-1.87	1.10-1.61	v
9	Zuidwest-Veluwe, n=10(9), index=56779 stuifzand, southwestern Veluwe, drift sand	269	176	143	116	68	1.23	30	105	+3.1	+56	+0.75	1.40	m
		91	30	17	15	14	0.04	9	44	5.7	70	0.92	0.30	s
		183-420	146-250	124-181	93-145	53- 92	1.17-1.31	21-52.5	63.5-165	-2-+16.5	-21-+152	-0.42-+2.00	1.09-2.00	v
10	Kootwijkse en Harskampse Zand, n=11(9), index=56678, stuifzand, drift sand	271	200	160	131	90	1.23	35	93	+5.0	+47	+0.58	1.27	m
		98	41	20	14	23	0.07	15	43	7.6	82	1.15	0.31	s
		192-420	160-265	137-189	114-148	54-116	1.14-1.35	20-59.5	47.5-158.5	-2-+18.5	-21-+181	-0.39-+2.70	0.97-1.93	v
11	Stroese Zand, n=16(8), index= 56779 stuifzand, drift sand	275	181	140	106	64	1.32	37	118	+3.0	+70	+1.06	1.48	m
		71	33	23	23	15	0.09	9	23	5.6	49	0.75	0.35	s
		188-378	132-258	96-175	60-134	46- 87	1.19-1.50	27-62	88-150.5	-2-+21	+3-133	+0.04-2.14	1.10-2.01	v
12	Gelderse Vallei n=4(3), index=56789 stuifzand, drift sand	217	163	130	103	68	1.28	30	75	+3.2	-4.0	+0.04	1.14	m
		12	18	30	32	19	0.17	7	16	5.4	19	0.37	0.11	s
		208-235	136-177	86-154	58-128	51- 88	1.17-1.53	24.5-39	60.5-92	-1.5-+11	-19-+18	-0.38-+0.29	1.01-1.23	v
13	Rozendaalse Zand en omg., n=8, index= 35668, stuifzand, drift sand	424	273	193	152	102	1.33	61	161	+19.2	+140	+1.12	1.15	m
		107	58	31	23	33	0.07	19.5	42	16.8	85	0.65	0.29	s
		276-573	184-338	144-240	109-179	41-131	1.24-1.47	33.5-91.5	113-232	+2.5-56.5	+29-282	+0.38-2.15	0.53-1.45	v

d. De variabele Kg is ten opzichte van alle andere variabelen matig tot geheel niet gekorreleerd.

e. De berekende koëfficiënten voor de dekzanden zijn in vele gevallen lager dan de overeenkomstige waarden voor de stuifzanden; in diverse gevallen is voor de dekzanden bovendien de signifikantie van de berekende koëfficiënten minder dan 0,05 samenhangend met het relatief geringe aantal waarnemingen.

Uit het voorgaande valt af te leiden, dat de positie van de P_{95}, met andere woorden de grootte van de grove 'staart' van de korrelgrootteverdelingen, in hoge mate de uitkomsten bepaalt van de overige percentielen en van de parameters QDa tot en met de α1. Voor spreidingsdiagrammen, waarbij zoveel mogelijk niet of zwak gekorreleerde variabelen tegen elkaar uitgezet moeten worden, zijn mede op grond van de-

14	Woeste Hoeve en omg. n=12(4), index=34567 stuifzand, drift sand	521 18 505-545	313 49 258-395	234 58 192-383	177 38 146-272	114 24 49-141	1.38 0.08 1.29-1.58	75 19.5 51.5-119	212 13 201.5-228	+19.1 12.5 +4.5-51	+195 43 +160-249	+1.41 0.40 +1.03-1.90	1.25 0.14 1.07-1.36	m s v
15	Spelderholt n=25, index=35677 stuifzand, drift sand	474 106 308-645	265 44 187-345	190 18 144-211	149 16 101-173	105 15 64-129	1.33 0.08 1.20-1.51	58 17 31.5-92.5	184 50 100.5-265	+17.1 12.2 +0.5-45.5	+199 84 +65-338	+1.67 0.34 +1.00-2.42	1.31 0.12 1.05-1.56	m s v
16	Spelderholt n=8, index=35677 stuifzand, duintop, drift sand, dune top	431 86 320-560	246 28 208-284	185 9 175-200	147 6 142-160	108 5 102-117	1.29 0.06 1.20-1.36	49 13 32-66	162 43.5 105.5-225	+11.4 7.7 +1-19.5	+169 72 +79-272	+1.65 0.35 +1.23-2.17	1.34 0.08 1.20-1.43	m s v
17	Spelderholt n=13, index=35678 dekzand, cover sand	556 68 472-685	266 25 226-298	187 12 165-202	144 11 124-155	96 12 72-113	1.35 0.03 1.30-1.40	61 8 50.5-71.5	230 32.5 190-301.5	+17.6 5.8 +8-24.5	+278 60 +208-411	+2.26 0.31 +2.02-3.16	1.54 0.13 1.41-1.90	m s v
18	Oost-Veluwe n=10(6), index=45668 stuifzand, eastern Veluwe, drift sand	403 33 338-425	251 56 195-352	186 22 167-245	151 13 139-180	102 22 48-130	1.27 0.10 1.16-1.43	50 23 27.5-86	154 19.5 123-181	+15.2 18.8 -1-+53	+144 45 +76-182	+2.27 0.98 +0.73-3.25	1.90 0.40 1.44-2.42	m s v
19	Leuvenumse Bos, n=14, index=46678 stuifzand, drift sand	323 80 260-575	200 21 177-260	157 12 142-185	129 7 117-138	93 8 77-104	1.24 0.04 1.21-1.37	36 8 28.5-61	115 39.5 85.5-242	+6.8 3.2 +2.5-14	+101 63 +48-296	+1.35 0.45 +0.69-2.42	1.30 0.14 1.08-1.62	m s v
20	Leuvenumse Bos n=6(5), index=46678 dekzand, cover sand	307 21 280-345	202 12 191-225	157 11 140-175	124 17 93-140	96 8 87-104	1.28 0.08 1.22-1.43	39 6 32.5-49	122 43 90-197	+6.2 2.2 +2-8	+82 12 +66-98	+1.12 0.12 +1.01-1.29	1.36 0.46 1.12-2.18	m s v
21	Noordoost-Veluwe n=7, index=46678 stuifzand, northeast- ern Veluwe, drift sand	326 111 220-555	196 22 177-230	160 18 140-189	130 13 114-149	85 14 64-104	1.23 0.03 1.17-1.26	38 16 24-40.5	120 56 63-238.5	+3.4 2.1 +0.5-6	+91 97 +8-305	+1.28 1.26 +0.16-4.06	1.46 0.51 1.07-2.60	m s v
22	Noordoost-Veluwe n=9(5), index=45678 dekzand, northeastern Veluwe, cover sand	368 139 230-705	213 70 165-392	157 53 76-277	122 34 88-190	86 27 51-120	1.34 0.13 1.19-1.60	48 25 30-101	158 80.5 97.5-292.5	+3.4 5.1 -3.5-+14	+123 90 +46-271	+1.27 0.48 +0.70-1.85	1.43 0.27 1.18-1.79	m s v
23	Noord-Veluwe n=14(10), index=45678 stuifzand, northern Veluwe, drift sand	322 65 245-407	211 42 156-320	170 34 132-225	135 21 110-180	88 25 53-122	1.26 0.05 1.18-1.37	39 13 22.5-75	121 22 96-150	+6.6 7.9 +0.5-30.5	+93 64 +28-225	+1.28 0.69 +0.50-2.58	1.45 0.18 1.21-1.82	m s v
A	Midden- en West- Veluwe, groepen 1,2, 4,5,6,7,8,9,10,11,12, n=127(114), index= 46678, stuifzanden central and western Veluwe, drift sands	322 78 183-522 1.63	206 34 132-307 2.28	163 22 86-216 2.62	132 20 58-175 2.92	93 20 46-127 3.43	1.25 0.07 1.14-1.53 1.13	37 10 20- 71 0.32	117 33.5 47.5-208.5 0.90	+5.3 5.3 -2-+21 -0.02	+89 58 -21-+267 -0.09	+1.15 0.63 -0.42-+2.70 -0.28	1.33 0.20 0.97-2.01 1.15	m s v mØ
B	Oost- en Zuidoost- Veluwe, groepen 13, 14,15,16,18, n=63(51), index= 35667, stuifzanden, eastern and south- eastern Veluwe, drift sands	455 96 276-645 1.14	269 50 184-395 1.89	197 34 144-383 2.34	155 24 101-272 2.69	106 20 41-141 3.24	1.32 0.08 1.16-1.58 1.19	58 19.5 27.5-119 0.40	176 45 27.5-265 1.05	+16.7 13.5 -1-+56.5 -0.05	+178 78 +29-338 -0.15	+1.63 0.58 +0.38-3.25 -0.37	1.36 0.28 0.53-2.42 1.08	m s v mØ
C	Noord- en Noordoost- Veluwe, groepen 19, 21, 23, n=35(31), index=46678, stuif- zanden, northern and northeastern Veluwe, drift sands	323 80 220-575 1.63	203 30 156-320 2.30	163 24 132-255 2.62	132 15 110-180 2.92	89 17 53-122 3.49	1.25 0.04 1.17-1.37 1.13	38 12 22.5-75 0.31	118 38 63-242 0.93	+6.0 5.4 +0.5-30.5 -0.01	+96 69 +8-305 -0.06	+1.31 0.74 +0.16-4.06 -0.19	1.38 0.28 1.07-2.60 1.23	m s v mØ
D	Veluwe, groepen, 3,17,20,22, n=36(31), index= 35678, dekzanden cover sands	447 150 230-805 1.16	230 47 165-392 2.12	169 30 76-277 2.56	132 20 88-190 2.92	90 16 51-120 3.46	1.32 0.08 1.19-1.60 1.17	49.5 16 30-101 0.40	191 72 90-356 1.15	+9.8 7.8 -3.5-+24.5 -0.04	+205 125 +46-534 -0.25	+1.96 0.96 +0.70-5.19 -0.62	1.58 0.40 1.11-3.05 1.18	m s v mØ
E	Veluwe, hoofdgroepen A,B,C, n=225(196), index= 45678, stuifzanden, drift sands	355 101 183-645 1.49	223 48 132-395 2.16	173 30 86-383 2.53	138 23 58-272 2.86	97 21 41-141 3.36	1.27 0.08 1.14-1.58 1.15	43 16.5 20-119 0.35	132.5 45.5 47.5-265 0.93	+8.5 9.7 -2-+56.5 -0.02	+114 76 -21-+338 -0.10	+1.30 0.66 -0.42-+4.06 -0.30	1.35 0.24 0.53-2.60 1.09	m s v mØ

Tabel 5.1 Gemiddelden (m), standaarddeviaties (s) en variatiebreedten (v) van korrelgroottepercentielen en -parameters van Veluwse stuifzanden en dekzanden (in µm waarden)
P_{95}= 95% percentiel, Q_3= eerste kwartiel, Md= mediaan, Q_1= tweede kwartiel, P_5= 5% percentiel, So= sortering, QDa= rekenkundige kwartiel deviatie, SOs= rekenkundige percentiel deviatie, Ska= rekenkundige kwartiel scheefheid, αs= rekenkundige percentiel scheefheid, α1= scheefheid, Kg= kurtosis (voor berekening zie tekst); 1 t/m 23 - monstergroepen(n.b. de monstergroep 12 valt buiten de Veluwe), A t/m E - hoofdgroepen; n= aantal monsters, (n)= aantal gevallen na aftrek van niet bepaalde parameters; index - voor bepaling zie tekst; mØ= gemiddelden in Ø-waarden door omrekening met de tabel van Page (1955)

Table 5.1 Mean (m), standard deviation (s) and extreme values (v) of grainsize percentile values and graphical parameters of drift sands and cover sands of the Veluwe (in microns)
P_{95}= 95% (finer) percentile value, Q_3= 75% (finer) quartile value, Md= median grainsize, Q_1= 25% (finer) quartile value, P_5= 5% (finer) percentile value, So= sorting coefficient, QDa= quartile deviation, SOs= simple sorting measure (percentile deviation), Ska= quartile skewness, αs= simple skewness measure (percentile skewness), α1= inclusive graphic skewness (adapted), Kg= inclusive graphic kurtosis (for calculation see text); 1 - 23 - sample groups (id. sample group 12 is located outside the Veluwe), A - E - main groups; n= number of samples, (n)= number of samples minus missing cases; index - for calculation see text; mØ= mean in Phi-units according to the conversion table from Page (1955)

	P_{95}	Q_3	Md	Q_1	P_5	So	QDa	SOs	Ska	αs	α1	Kg	
P_{95}		0.91	0.86	0.77	0.56	0.62	0.85	0.97	0.71	0.97	0.80	0.26	E
	1.00	0.84	0.76	0.55	0.19*	0.62	0.83	0.96	0.75	0.97	0.85	0.37	D
Q_3			0.96	0.91	0.73	0.64	0.89	0.83	0.75	0.82	0.57	-0.004*	E
		1.00	0.94	0.80	0.58	0.58	0.86	0.79	0.87	0.79	0.60	-0.04 *	D
Md				0.97	0.80	0.51	0.79	0.75	0.64	0.74	0.51	-0.03 *	E
			1.00	0.93	0.70	0.40	0.71	0.65	0.83	0.68	0.51	-0.21 *	D
Q_1					0.88	0.38	0.68	0.64	0.58	0.66	0.46	-0.07 *	E
				1.00	0.88	0.18*	0.50	0.43	0.78	0.45	0.24*	-0.40	D
P_5						0.29	0.51	0.39	0.44	0.53	0.42	-0.18	E
					1.00	0.25*	0.40	0.13*	0.54	0.15*	-0.04*	-0.60	D
So							0.88	0.79	0.72	0.69	0.43	-0.05 *	E
						1.00	0.89	0.89	0.44	0.87	0.70	0.16 *	D
QDa								0.88	0.81	0.82	0.55	0.01 *	E
							1.00	0.86	0.72	0.85	0.67	0.07 *	D
SOs									0.70	0.94	0.78	0.33	E
								1.00	0.75	0.95	0.83	0.47	D
Ska										0.70	0.46	-0.10 *	E
									1.00	0.76	0.64	0.03 *	D
αs											0.90	0.32	E
										1.00	0.92	0.45	D
α1												0.58	E
											1.00	0.59	D
Kg												1.00	

Tabel 5.2 Korrelatiematrix van korrelgroottepercentielen en -parameters; Spearman-korrelatie-koëfficiënten. De korrelatiekoëfficiënten bezitten een signifikantie van 0.001 met uitzondering van de met * gemerkte waarden, die een signifikantie van minder dan 0.05 bezitten. Hoofdgroep D = alle dekzanden - n = 36(31), hoofdgroep E = alle stuifzanden - n = 225(196)

Table 5.2 Correlation matrix grainsize percentile values and graphical parameters; Spearman correlation coefficients. The correlation coefficients have a significance of 0.001 excepting the values marked with *, which have a significance of less than 0.05. Main group D = all cover sands; main group E = all drift sands

ze korrelatieberekeningen de volgende paren van variabelen uitgekozen: Md x Kg, Ska x Kg en Md x α1. Door de keuze van deze variabelen-paren wordt verwacht, dat in spreidingsdiagrammen eventueel aanwezige regionale of anderszins bepaalde verschillen zichtbaar kunnen worden.

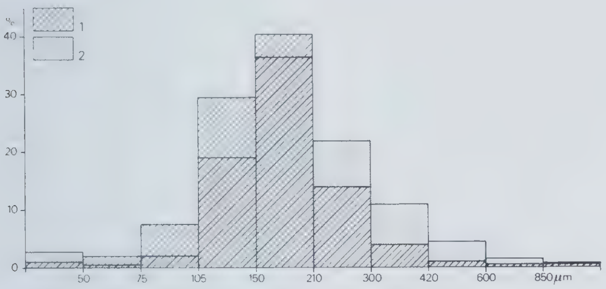
Teneinde vergelijking mogelijk te maken met in ø-waarden gegeven korrelgrootteparameters in studies van andere auteurs, is het mogelijk de µm-waarden met behulp van de tabel van Page (1955) om te zetten in ø-waarden. Het blijkt bij de onderzochte monsters niet of nauwelijks iets uit te maken of de µm-waarden van de parameters afgelezen worden van kumulatieve kurven met een lineaire of logaritmische absisverdeling. Voor de hoofdgroepen A, B, C, D en E van tabel 5.1 zijn de parameters ook berekend in ø-waarden.

5.4 Korrelgrootteverdeling

Over het algemeen blijkt de granulometrie van landduinzanden over grote afstanden in Noordwest-Europa tamelijk uniform te zijn, en worden de lokaal optredende verschillen geweten aan verschillen in korrelgrootteverdeling van de herkomstmaterialen (De Ploey, 1961; Seppälä, 1969; Rotnicki, 1970; Pyritz, 1972 en Vossmerbäumer, 1976). Algemeen bekend is dat de oorspronkelijke herkomstmaterialen van de door eolische resedimentatie, gevormde landduinen bestaan uit fluviatiele, en in bepaalde gevallen fluvio-glaciale sedimenten. Deze materialen kunnen gemakkelijk door de wind worden opgenomen. Bij dit windtransport vindt over het algemeen een relatieve afname plaats van de zeer fijne en grove frakties, hetgeen zich uit in een toename van de sorteringsgraad, een relatieve toename van het gehalte aan kwarts en stabiele zware mineralen en een relatieve afname van het gehalte glimmer en chloriet (Kukal, 1971). Of de duinen fijner of grover zijn dan de herkomstmaterialen hangt af van de korrelgrootteverdelingen van deze afzettingen. Dit type windafzettingen streeft naar een symmetrische verdeling en een dominantie van de gemakkelijkst salteerbare frakties rond de 105 - 300 µm (Doeglas, 1952; Folk, 1971; Depuydt, 1972). Volgens Rotnicki (1970) kan bij gedetailleerde duinstudies gebruik gemaakt worden van de toenamerichting van de korrelgrootteselektie bij rekonstruktie van de belangrijkste transportrichting. Depuydt (1972) konstateerde dat, in de door hem onderzochte kustduinen, bij voortdurend transport het duinzand een normale (Gauss)verdeling nadert met een lagere mediaan en een hogere sorteringsgraad dan die van het herkomstmateriaal. Hiermee in overeenstemming zijn de gegevens over afname van de mediaan en toename van de sorteringsgraad bij toename van de saltatie-spronghoogte (Sindowski, 1956).

In stuifzanden van de Midden- en

Noord-Veluwe is, in verreweg de meeste gevallen, de fraktie fijner dan de modale fraktie (150 - 210 µm) de op één na grootste fraktie, terwijl dit bij de Oost-Veluwse stuifzanden juist de fraktie grover dan dezelfde modale fraktie is (figuur 5.3). In die gevallen waar de fraktie 105 - 150 µm de modale fraktie is, ligt de op één na grootste fraktie tussen de 150 en 210 µm. De stuif-



Figuur 5.3
Histogrammen van de korrelgrootteverdeling van stuifzanden
Histograms of the grainsize distribution of drift sands
1 - (gemiddelde) korrelgrootteverdeling voor Midden- en Noord-Veluwse stuifzanden (hoofdgroepen A en C, tabel 5.1; n = 162)/(average) grainsize distribution of drift sands of the central and northern Veluwe (main groups A and C, table 5.1; n = 162)
2 - idem voor Oost-Veluwse stuifzanden (hoofdgroep B, tabel 5.1; n = 63)/idem for the drift sands of the eastern Veluwe (main group B, table 5.1; n = 63)

zanden bestaan overwegend uit kalkloos, uiterst tot zeer humusarm, leemarm tot zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand, d.w.z. dat de mediaan van de zandfraktie ligt binnen de fraktiegrenzen van 105 - 150 µm of 150 - 210 µm. In uitzonderingsgevallen komen zwak of sterk lemige, zeer fijne of uiterst fijne zanden en leemarme, matig grove zanden voor. In de sterkst gesorteerde stuifzanden kan het percentage in de fraktie 150 - 210 µm oplopen tot 51%, en het percentage in de frakties 105 - 300 µm tot 94%. In deze gevallen bedraagt de $Q_3 - Q_1 < 50$ µm en de $P_{95} - P_5 < 100$ µm. De frakties > 600 µm en < 50 µm bereiken zelden percentages > 5%.

Van de voor de parameterbepalingen getekende sommatiekurven is een aantal samengevoegd in figuur 5.2. Bij wijze van voorbeeld zijn in deze figuur enkele bundels sommatiekurven getekend, die typerend zijn voor fijne, 'normale' en grove onderzochte stuifzanden (N.B. 'normaal' = vallend binnen gem. + of - standaarddeviatie van totale hoeveelheid onderzochte monsters). De kurven a1 van stuifzanden in het Stroese Zand hebben een rechtlijnig verloop, d.w.z. een symmetrische verdeling tussen ca 50 en 210 µm met een hellingshoek van ca 40°. Deze zanden hebben een grove staart van < 5% en een fijne staart van > 10%, terwijl de mediaan ca 105 µm bedraagt. De kurven b.4 van stuifzanden van het Otterlose Bos hebben een min of meer rechtlijnig verloop tussen ca 75 en 210 µm met een hellingshoek van ca 45°. Deze zanden hebben een grove 'staart' van ca 25% en een fijne 'staart' van slechts enkele procenten, terwijl de mediaan ca 175 µm bedraagt. De kurven b.5 van stuifzanden in het Kootwijkse Bos hebben een rechtlijnig verloop tussen 105 en 210 µm met een hellingshoek van ca 55°. Deze zanden hebben een grove 'staart' van < 5% en een fijne 'staart' van ca 15%, terwijl de mediaan ca 140 µm bedraagt. De kurven c.6 en c.7 zijn volkomen afwijkend, en voor de gehele verdeling asymmetrisch. Deze kurven hebben een zeer kleine fijne 'staart' en bestaan voor ca 50% of meer uit materiaal > 210 µm. De mediaan variëert van ca 200 tot 450 µm. Afgezien van de hier onder a en c besproken, extreme, lokale afwijkingen in korrelgrootteverdeling geldt, dat stuifzanden gekenmerkt worden door S-vormige kurven (Doeglas, 1952) met een min of meer symmetrische verdeling tussen ca 75 en 210 µm (overeenkomend met het trajekt van ca P_5 tot P_{90}), belangrijke grove 'staarten' en onbetekenende fijne 'staarten'. De variaties in gewichtspercentages, die optreden in de grove 'staarten' zijn dus aanzienlijk groter dan die in de fijne 'staarten'. Tijdens eolisch transport in een bepaalde richting wordt de maximale korrelgrootte, die getransporteerd kan worden, bepaald door de transportkapaciteit, die voornamelijk een funktie is van de windsnelheid. Hierdoor zullen verschillen in transportkapaciteit zich uiten in verschillen in de grove 'staarten' van de korrelgrootteverdelingen, d.w.z. in de mate van positieve scheefheid. Een dergelijke relatie bestaat niet voor fijne 'staarten' (Friedman, 1961).

Zoals Depuydt (1972) opmerkte, is het evenzeer bij het stuifzandonderzoek moeilijk de faktoren, die de korrelgrootteverdelingen beïnvloeden, afzonderlijk na te gaan. Belangrijke faktoren zijn de regionale verschillen in herkomstmateriaal, de intensiteit en lengte van het transport, en de (mikro)geomorfologische situering, zoals expositie ten opzichte van de dominerende transportrichting en de afzettingshoogte. De monsters zijn op zodanige wijze gegroepeerd dat verwacht kan worden, dat ze zo veel mogelijk op slechts één van de genoemde invloedsfactoren verschillen. Aangezien deze groepering op veldkriteria altijd enigszins subjektief en de verschillen in granulometrie meestal relatief klein zijn, was het noodzakelijk een groot aantal monsters te analyseren. De stuifzanden zijn per groep, of kombinatie van groepen, op zo uniform mogelijke wijze bemonsterd. Voor de groepen voor het regionale onderzoek zijn stuifzanden bemonsterd op overwegend 1 à 2 meter hoge stuifduinen, op enkele decimeters diepte. Voor de groepen voor het korrelgrootte-onderzoek in relatie tot de geomorfologie zijn stuifzanden bemonsterd op duinflanken en -toppen, op per regio uniforme diepten. Van de dekzanden is op va-

riërende diepten het niet door bodemvorming beïnvloede materiaal bemonsterd om de eventuele (geringe) invloed van bodemvorming op de korrelgrootteverdeling uit te sluiten. Het betrof overwegend onder stuifzand begraven, al of niet uitgestoven dekzandpakketten.

5.4.1 Korrelgrootteverdeling in relatie tot de regionale verbreiding en herkomst

In navolging van Doeglas (1968, 1971) zijn alle korrelgrootteverdelingen weergegeven met behulp van indexwaarden. Gekozen is voor een indicering van $P_{95}.Q_3.Md.Q_1.P_5$-waarden in µm's met de rangnummers 1 (fraktie > 850 µm) tot en met 10 (fraktie < 50 µm). Door van monstergroepen de gemiddelde indexwaarden te bepalen, en hiervan de verbreiding op de Veluwe weer te geven (figuur 5.4), krijgt men een indruk van de aard (orde van grootte van mediaan, deviatie en scheefheid) van de korrelgrootteverdelingen en de regionale verschillen daarin. De naamgeving van de sedimenten kan tevens afgelezen worden van de indexwaarden.

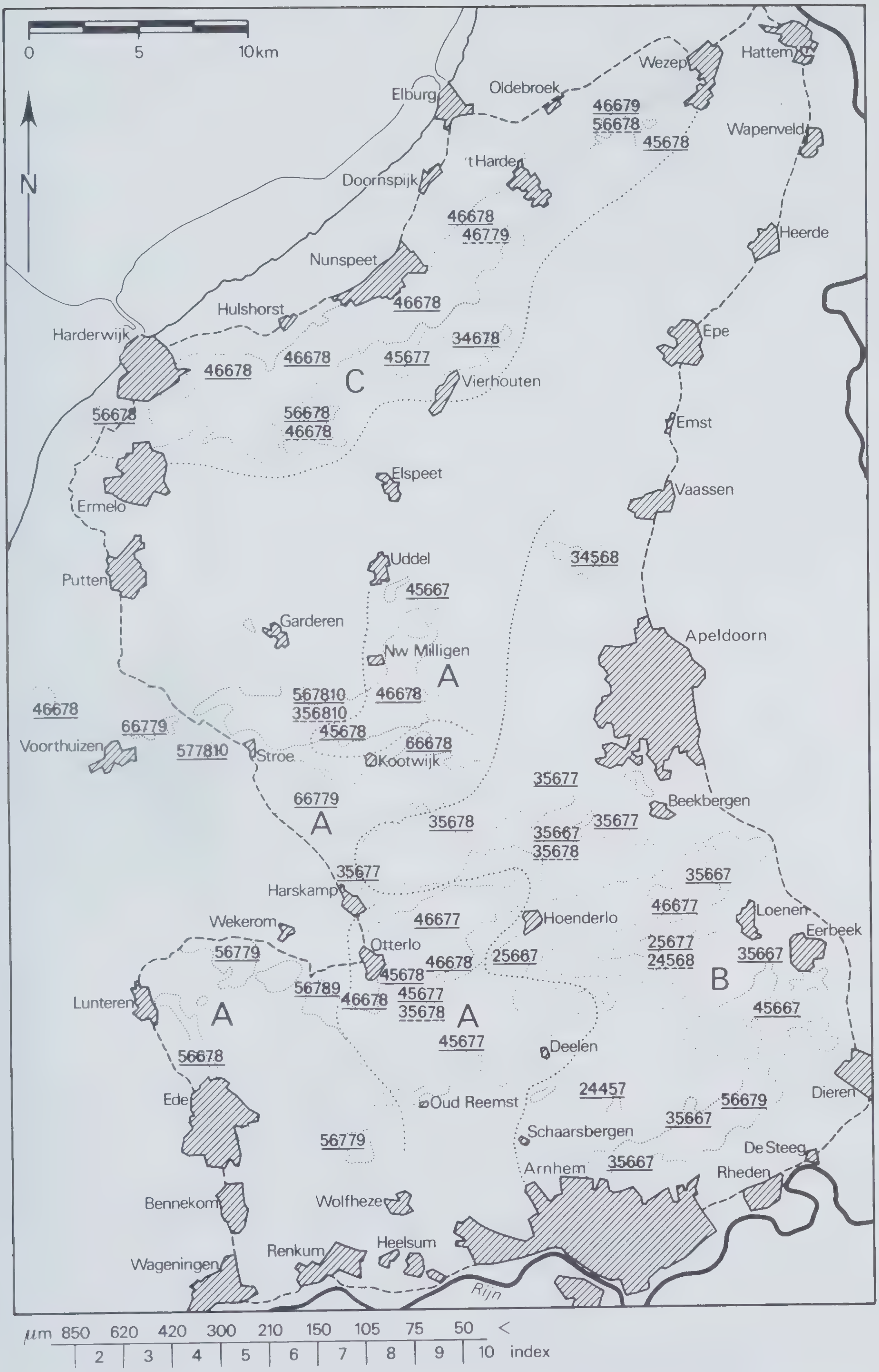
De hoeveelheid monsters is te groot, en de koncentratiedichtheid van monsters per stuifzandgebied te divers, om de indexwaarden van de afzonderlijke monsters in kaart te kunnen brengen (vergelijk appendix 1). Met behulp van stippellijnen zijn de Midden- en West-Veluwse, de Oost- en Zuidoost-Veluwse en de Noord- en Noordoost-Veluwse stuifzandgebieden (hoofdgroepen A, B en C) begrensd. Bovendien is op grond van de gevonden indexwaarden een nadere indeling in regio's gemaakt binnen hoofdgroep A. Enkele Midden- en Zuidwest-Veluwse stuifzandgebieden hebben indexwaarden (bij voorbeeld 5.7.7.8.10), die afwijken van de in hoofdgroep A, en eveneens in hoofdgroep C, normaliter voorkomende indexwaarden. Enkele in hoofdgroep B gelegen stuifzandgebieden hebben indexwaarden (bij voorbeeld 2.4.4.5.7), die bijzonder grove stuifzanden vertegenwoordigen. Indexwaarden die een relatief grote kwartiel- en percentieldeviatie c.q. lage sorteringsgraad te zien geven (bij voorbeeld 5.6.7.8.10) worden zonder herkenbare systematiek afgewisseld door indexwaarden die een relatief kleine kwartiel- en percentieldeviatie (bij voorbeeld 6.6.6.7.8) aangeven. Op grond van figuur 5.4 wordt voorlopig gekonkludeerd, dat de indeling in hoofdgroepen voldoet wat betreft de grofheid of fijnheid van de voorkomende stuifzanden, maar niet wat betreft de mate van korrelgroottesortering.

Wat ook opvalt bij bestudering van figuur 5.4 is, dat er geen sprake is van een systematische verandering in korrelgrootteverdeling, bij welke oriëntatierichting dan ook over de Veluwe. Zelfs in de ca 30 km lange ZW-NO georiënteerde stuifzandzone op de noordelijke Veluwe (hoofdgroep C) blijkt, ook bij nauwkeurige analyse van de berekende parameters van alle in deze zone onderzochte monsters, geen ééntduidige verandering in korrelgrootteverdeling in de lengterichting van deze zone aantoonbaar. Dit is in overeenstemming met de veronderstelde zeer lokale herkomst van de stuifzanden. Indien systematische verschillen optreden in granulometrie tussen stuifzanden en dekzanden zal dat dan ook het gevolg zijn van optreden van selektie tijdens herhaalde lokale resedimentatie van het materiaal, en niet dankzij selektie tijdens een lange transportweg in een bepaalde richting.

In aangepaste vorm naar Doeglas (1968) zijn $P_{95}.Q_3.Md.Q_1.P_5$-diagrammen getekend van stuifzanden en dekzanden (figuur 5.5). Op de diagonaal zijn de mediaan-waarden uitgezet volgens een lineaire ordinaatverdeling in µm. De P_{95}, Q_3 en Q_1, P_5 zijn vertikaal boven respektievelijk onder de mediaanwaarden uitgezet. Langs de ordinaat zijn voor de volledigheid naast de µm-waarden, de korresponderende ø-waarden en indexwaarden aangegeven. Voor de stuifzanden zijn de percentielen van de 'fijne' zanden in het Stroese Zand (groep 11), de 'normale' zanden van het Otterlose Bos (groep 1), de 'grove' zanden van de Zuidoost-Veluwe (groep 14) en het algemeen gemiddelde voor alle stuifzanden tezamen (hoofdgroep E) ingetekend. Deze diagrammen geven naast de ligging van de percentielwaarden zelf, een beeld van de kwartiel- en percentieldeviatie en -scheefheid, en het verloop van deze waarden bij toe- of afname van de grofheid.

Uit diagram 5.5a kunnen de volgende konklusies getrokken worden:

a. de kwartiel- en percentieldeviaties nemen vanaf de gemiddelde mediaanwaarde toe bij toename van de korrelgrootte; bij mediaanwaarden lager dan het gemiddelde blijven de kwartiel- en percentieldeviaties ongeveer gelijk bij afname van de korrelgrootte, behalve bij de allerfijnste stuifzanden waar de P_{95} en Q_3 weer toenemen. Bij gebrek aan nog fijnere windafzettingen blijft onbepaald of de deviaties blijven toenemen bij verdere afname van de korrelgrootte;
b. de stuifzanden worden over het algemeen gekenmerkt door een positieve scheefheid ($P_{95} - Q_3 > Q_1 - P_5$ en $Q_3 - Md \geqslant Md - Q_1$), die groter wordt naarmate de mediaan toeneemt; vergelijk tevens de regressielijn in figuur 5.6. Per regio kunnen op korte mediaanafstanden belangrijke verschillen in percentielwaarden optreden; het algemene beeld echter, zoals in figuur 5.5a gegeven, blijkt ook van kracht te zijn voor de andere stuifzandregio's. Op figuur 5.5b, betreffende

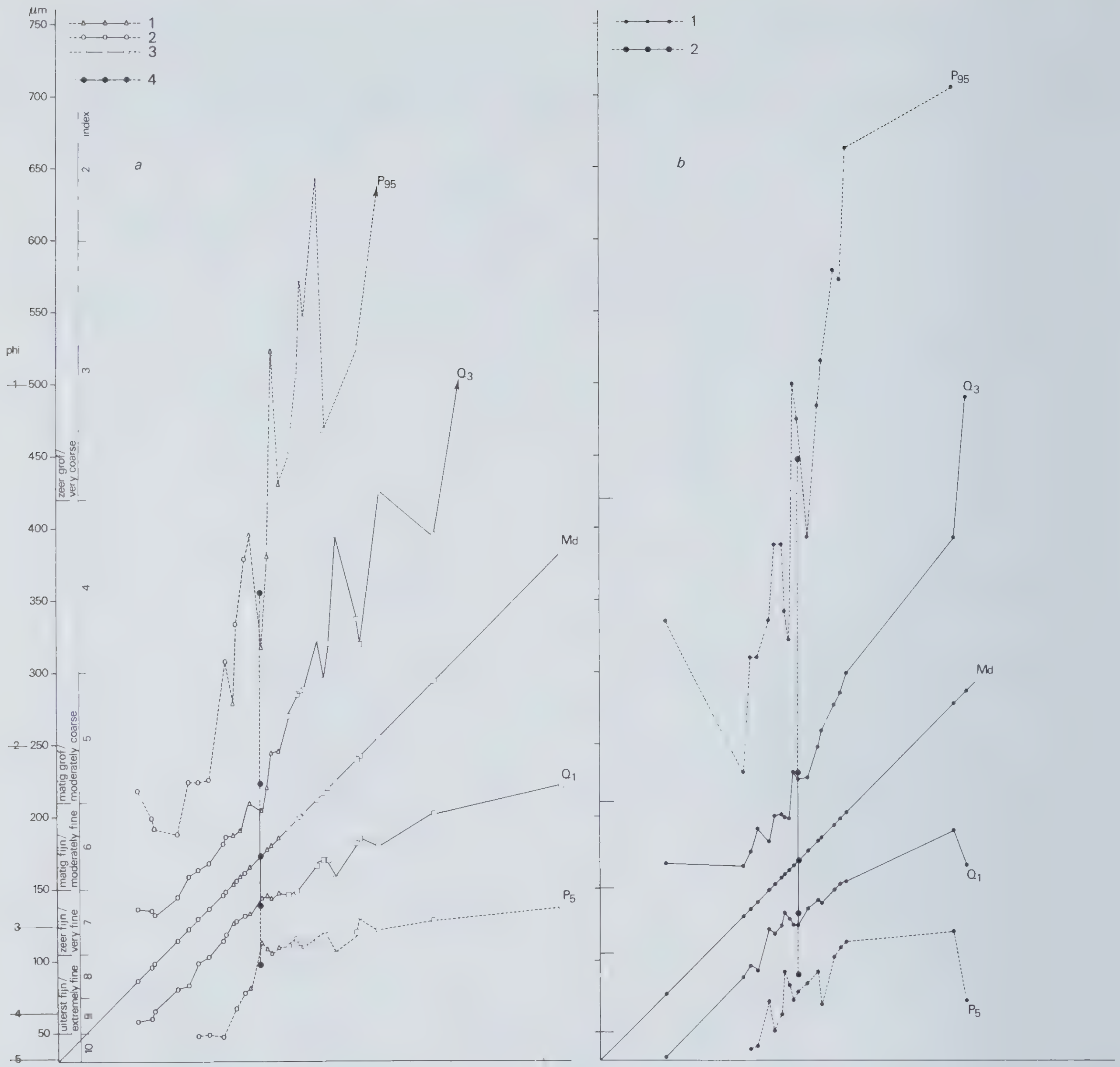


Figuur 5.4

$P_{95}.Q_3.Md.Q_1.P_5$-indexwaarden van de korrelgrootteverdeling van stuifzanden (46678) en dekzanden (46779) van de Veluwe

$P_{95}.Q_3.Md.Q_1.P_5$-indices of the grainsize distribution of drift sands (46678) and cover sands (46779) of the Veluwe

.... grens tussen de onderscheiden stuifzandgebieden/boundary between the distinguished drift sand areas



Figuur 5.5
$P_{95}.Q_3.Md.Q_1.P_5$-diagrammen van de korrelgrootteverdeling van stuifzanden (a) en dekzanden (b)
$P_{95}.Q_3.Md.Q_1.P_5$-diagrams of the grainsize distribution of drift sands (a) and cover sands (b)
a - 1 - lokatie/location Otterlose Bos (groep/group 1, tabel/table 5.1), 2 - lokatie/location Stroese Zand (gr. 11), 3 - lokatie Zuidoost-Veluwe/location southeastern Veluwe (gr. 14), 4 - algemeen gemiddelde stuifzanden/overall mean for drift sands (hoofdgroep/main group E)
b - 1 - gehele Veluwe/entire Veluwe, 2 - algemeen gemiddelde dekzanden/overall mean for cover sands (hoofdgroep/main group D)

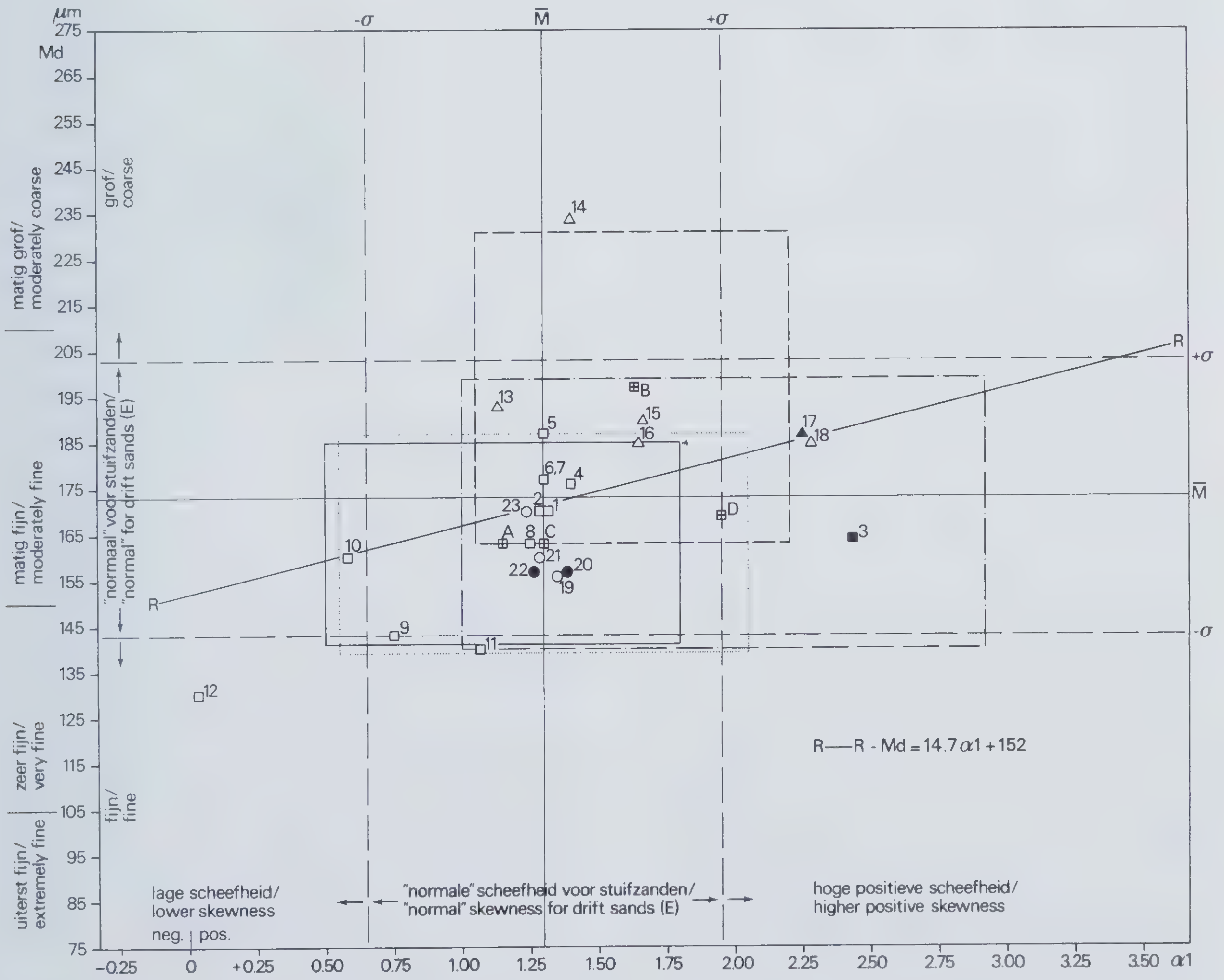
dekzanden, wordt nader ingegaan in paragraaf 5.4.3.

Het Q_1 MdQ_3-diagram met een logaritmische ordinaatverdeling van Doeglas (1967, 1968) geeft het verloop van sterk gesorteerde loessen (zeer kleine deviatie) via minder gesorteerde loess-dekzand mengsels naar sterk gesorteerde dekzanden. In figuur 5.5a (lineaire ordinaat) wordt dit patroon niet bevestigd, ook niet bij gebruik van een logaritmische schaal. Stuifzanden, die een ééntoppige korrelgrootteverdeling hebben, bestaan geheel uit materiaal, dat dezelfde sedimentatiegeschiedenis heeft. Bij onderzoek van deze afzettingen van dezelfde faciës is het veel waarschijnlijker de kleinste deviaties te vinden rondom het algemeen gemiddelde, en toenames van de deviaties, zowel naar de fijnere als naar de grovere 'staarten'.

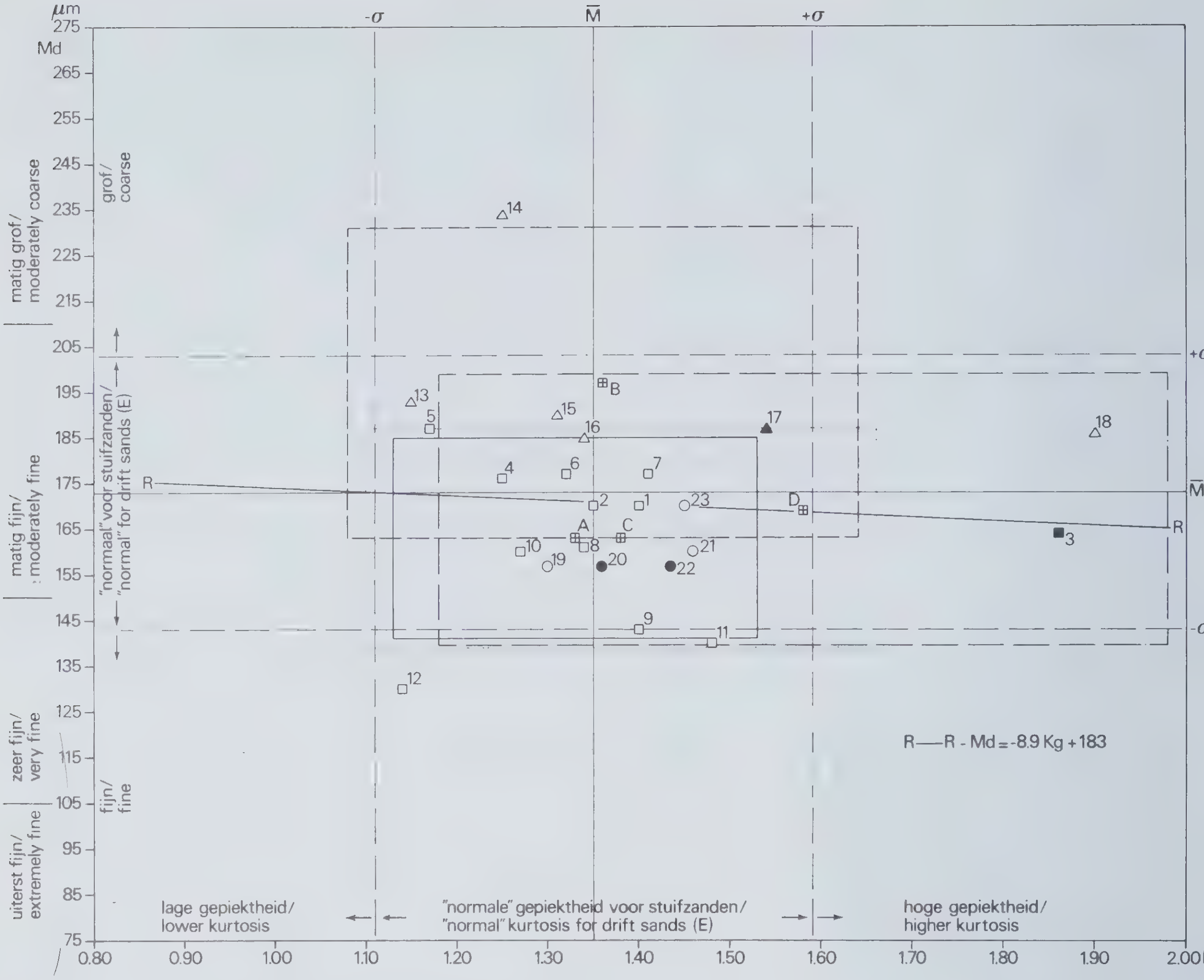
Op grond van de bepaalde korrelatiematrix (tabel 5.2) en de door Folk & Ward (1957), Mason & Folk (1958), Friedman (1961) en Folk (1966) voorgestelde parameter-paren zijn de Md x α1, Md x Kg en Ska x Kg-waarden in spreidingsdiagrammen uitgezet (figuren 5.6, 5.7 en 5.8). Meestal wordt de voorkeur gegeven aan diagrammen van de scheefheid versus de gepiektheid. Mason & Folk (1958) geven hiervoor de volgende argumentatie. Indien een herkomstge-

bied materiaal levert met een min of meer uniforme korrelgrootteverdeling en een hoge sorteringsgraad, (zoals het geval is bij stuifzanden), zullen tijdens transport en afzetting weinig verschillen optreden in de centrale helft van de verdeling. Doeglas (1967) noemt dit de wet van 'konstantheid van gewichtspercentages van de centrale frakties', zoals die volgens hem geldt voor afzettingen van een bepaalde faciës binnen een bepaald afzettingsgebied. Geringe wisselingen in transportkondities zullen zich vooral uiten in de 'staarten' van de verdelingen, die juist gekarakteriseerd worden door scheefheid en gepiektheid. Slechts een kleine hoeveelheid materiaal behoeft toegevoegd of afgenomen te worden van de 'staarten' om deze parameters sterk te veranderen, terwijl grote toevoegingen of afnames nodig zijn voor substantiële wijzigingen in gemiddelden en deviaties. Waar deze toe- of afnames van de 'staarten' liggen, kan geschat worden aan de plaats van de ombuigingen ter weerszijden van de rechte lijnstukken van de volgens een waarschijnlijkheidsverdeling getekende sommatiekurven. Een analoge situatie wordt door Mason & Folk (1958) verondersteld bij vergelijking van bolvormigheid ('sphericity') en afronding ('roundness') van duinzand-kwartskorrels. Bij een bepaalde transportafstand zal de afronding, die kleine-schaal verschijnselen (scherpte van korrelribben en -hoeken) meet, sneller veranderen dan de bolvormigheid, die bepaald wordt door algemene dimensieverhoudingen van de korrels, en dientengevolge meer een funktie is van de herkomst van het materiaal. Hierop wordt verder ingegaan in hoofdstuk 7.

De spreidingsdiagrammen zijn samengesteld uit de gegevens van tabel 5.1. In figuur 5.6 is de scheefheid $\alpha 1$ uitgezet tegen de mediaan; de korrelatie-koëfficiënt (Md x $\alpha 1$, tabel 5.2) voor de stuif- en dekzanden bedraagt 0,51. Dit is de laagste, bereikte korrelatie-koëfficiënt voor de scheefheidsmaten versus de mediaan. Bij toename van de mediaan wordt een toename van positieve scheefheid gekonstateerd (zwak oplopende regressielijn). De gemiddelde waarden voor de mediaan en scheefheid van alle stuifzanden



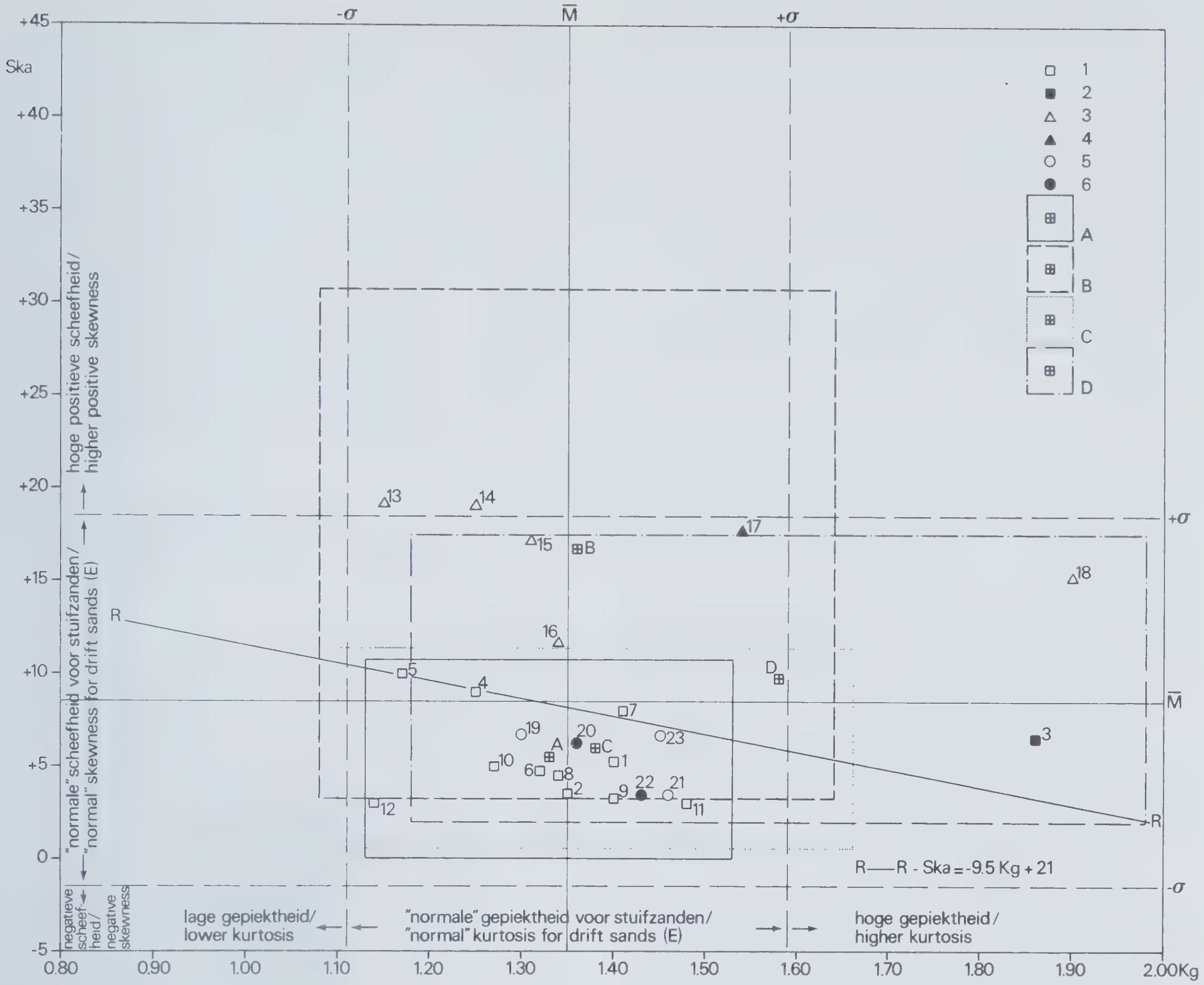
Figuur 5.6
Spreidingsdiagram van de mediaan versus de scheefheid van de korrelgrootteverdeling van stuif- en dekzanden (legenda zie figuur 5.8)
Scatter diagram of median plotted against skewness of the grainsize distribution of drift and cover sands (legend see figure 5.8)



Figuur 5.7
Spreidingsdiagram van de mediaan versus de gepiektheid van de korrelgrootteverdeling van stuif- en dekzanden (legenda zie figuur 5.8)
Scatter diagram of median plotted against kurtosis of the grainsize distribution of drift and cover sands (legend see figure 5.8)

(hoofdgroep E) + en - de standaarddeviaties van Md en α1 voor de hoofdgroep E zijn aangegeven als referentiekader. Het trajekt M ± σ is opgevat als 'normaal' voor de stuifzanden. Van alle in tabel 5.1 onderscheiden stuifzand- en dekzandgroepen (1 t/m 23), is de positie van de gemiddelde waarden aangegeven met behulp van zes verschillende signaturen voor Midden- en West-, Oost- en Zuidoost-, en Noord- en Noordoost-Veluwse stuifzandgebieden. Van de hoofdgroepen A, B en C (stuifzanden) en D (dekzanden) volgens tabel 5.1 zijn de gemiddelden aangegeven en tevens gebieden + of - de standaarddeviaties behorend bij de betrokken hoofdgroepen. De figuren 5.7 en 5.8 zijn op identieke wijze samengesteld. In figuur 5.7 is de gepiektheid (Kg) uitgezet tegen de mediaan; de niet signifikante korrelatie-koëfficiënt (Md x Kg, tabel 5.2) voor de stuifzanden en dekzanden bedraagt -0,03, resp. -0,21. De regressielijn loopt praktisch horizontaal. De gemiddelde waarden voor de mediaan en gepiektheid van alle stuifzanden (hoofdgroep E) + en - de standaarddeviaties van Md en Kg voor de hoofdgroep E zijn aangegeven als referentiekader. Het trajekt M ± σ is opgevat als 'normaal' voor de stuifzanden. In figuur 5.8 is de gepiektheid uitgezet tegen de scheefheid (Ska); de niet signifikante korrelatie-koëfficiënt (Ska x Kg, tabel 5.2) voor de stuifzanden en dekzanden bedraagt -0,10, resp. -0,03. Dit zijn de laagst bereikte korrelatie-koëfficiënten voor de scheefheidsmaten versus de gepiektheid. De regressielijn heeft een zwak dalend verloop bij toename van de gepiektheid. Ook in deze figuur zijn de gemiddelde waarden voor de scheefheid en gepiektheid van alle stuifzanden (hoofgroep E) + en - de standaarddeviaties van Ska en Kg voor de hoofdgroep E aangegeven als referentiekader. Het trajekt M ± σ is wederom opgevat als 'normaal' voor de stuifzanden.

Vanwege de duidelijkheid is gekozen voor het uitsluitend aangeven van de gemiddelden voor de groepen en de standaarddeviaties voor de hoofdgroepen in plaats van alle afzon-



Figuur 5.8
Spreidingsdiagram van de scheefheid versus de gepiektheid van de korrelgrootteverdeling van stuif- en dekzanden
Scatter diagram of skewness plotted against kurtosis of the grainsize distribution of drift and cover sands
1-23 en/and A-D - groepen respektievelijk hoofdgroepen volgens tabel 5.1/groups resp. main groups in table 5.1; van de groepen zijn de gemiddelde waarden weergegeven; van de hoofdgroepen zijn de gemiddelde waarden en met behulp van de omkaderingen de standaarddeviaties weergegeven/for the groups only the mean values are indicated; for the main groups the mean values are indicated and the standard deviations are outlined
1 - stuifzanden Midden- en West-Veluwe/drift sands central and western Veluwe (groepen/groups 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12)
2 - dekzanden Midden- en West-Veluwe/cover sands central and western Veluwe (groep/group 3)
3 - stuifzanden Oost- en Zuidoost-Veluwe/drift sands eastern and southeastern Veluwe (groepen/groups 13, 14, 15, 16, 18)
4 - dekzanden Oost- en Zuidoost-Veluwe/cover sands eastern and southeastern Veluwe (groep/group 17)
5 - stuifzanden Noord- en Noordoost-Veluwe/drift sands northern and northeastern Veluwe (groepen/groups 19, 21, 23)
6 - dekzanden Noord- en Noordoost-Veluwe/cover sands northern and northeastern Veluwe (groepen/groups 20, 22)
A - stuifzanden Midden- en West-Veluwe/drift sands central and western Veluwe, hoofdgroep/main group A
B - stuifzanden Oost- en Zuidoost-Veluwe/drift sands eastern and southeastern Veluwe, hoofdgroep/main group B
C - stuifzanden Noord- en Noordoost-Veluwe/drift sands northern and northeastern Veluwe, hoofdgroep/main group C
D - dekzanden/cover sands Veluwe, hoofdgroep/main group D

derlijke monsterwaarden. Nog afgezien van het beperkte nut van spreidingsdiagrammen voor de afzonderlijke monstergroepen, is daarbij een groot aantal spreidingsdiagrammen nodig vanwege de grote mate van overlapping in puntenwolken, die bleek op te treden. De spreidingsdiagrammen dienen dan ook, tezamen met de gegevens van standaarddeviaties en variatiebreedten, in tabel 5.1 bestudeerd te worden.

Op basis van de spreidingsdiagrammen kunnen de volgende overeenkomsten en verschillen in granulometrie gekonstateerd worden tussen de diverse stuifzandregio's:

1. De Midden- en West-Veluwse (A) en de Noord- en Noordoost-Veluwse stuifzanden worden in alle drie de spreidingsdiagrammen gekenmerkt door een praktisch totale overlapping van M ± **σ**.
2. De groepen 9, 11 en 12 van de stuifzanden van de Midden-Veluwe en de Gelderse Vallei bezitten uitzonderlijk lage mediaan- en of scheefheidswaarden (figuur 5.6). Groep 12 (stuifzanden Gelderse Vallei) neemt in alle drie de spreidingsdiagrammen een aparte plaats in.
3. De Oost- en Zuidoost-Veluwse stuifzanden

zijn in alle drie de spreidingsdiagrammen sterk afwijkend – grover, hogere positieve scheefheid – van de hoofdgroepen A en C en hebben relatief hoge waarden voor de standaarddeviaties van Md en Ska.

4. Vooral de groepen 14 (Woeste Hoeve) en 18 (diverse lokaties Oost-Veluwe) worden gekenmerkt door een uitzonderlijk hoge mediaan, resp. gepiektheid.
5. Met uitzondering van groep 18 (diverse lokaties Oost-Veluwe) hebben alle stuifzandregio's min of meer uniforme waarden voor de gepiektheid.

In samenhang met de figuren 5.4 en 5.5 en tabel 5.1 kan het volgende opgemerkt worden betreffende de mate van korrelgroottesortering van de stuifzanden van de diverse stuifzandregio's:

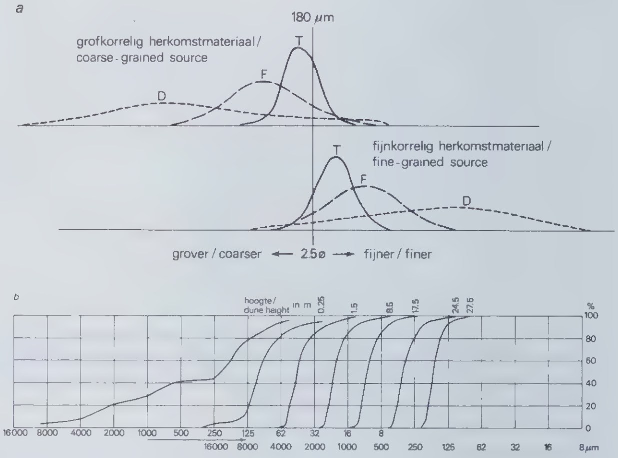
6. Verschuivingen in de grofheid of fijnheid van groepen ten opzichte van het algemeen gemiddelde voor alle stuifzanden (E) worden veroorzaakt door zowel toenames, respektievelijk afnames van korrelgrootte binnen het centrale deel van de verdelingen, als door bijmenging met materiaal in de grove 'staarten' > 300 µm respectievelijk in de fijne 'staarten' < 105 µm.
7. Zowel wat het centrale deel (QDa) als wat het totaal van de korrelgrootteverdeling (SOs) betreft, zijn de Oost- en Zuidoost-Veluwse stuifzanden minder goed gesorteerd dan de hoofdgroepen A en C, die een min of meer gelijke mate van sortering bezitten.
8. De groepen 12 (Gelderse Vallei) en 14 (Woeste Hoeve) bezitten een uitzonderlijk hoge, respektievelijk relatief lage mate van sortering.

Met behulp van de Kolmogorov-Smirnov 'two-sample test' is getoetst in hoeverre de hierboven geformuleerde verschillen in afzonderlijke korrelgrootte-parameters van de diverse stuifzandregio's signifikant zijn.

Per variabele (percentiel of parameter) is getoetst of hoofdgroepen onderling signifikant verschillen, en of afzonderlijke groepen signifikant verschillen van de hoofdgroep, waartoe de betrokken groep behoort, en van de hoofdgroep E, die alle stuifzand-monstergroepen omvat. In appendix 3b worden de resultaten hiervan gegeven. De op grond van deze toetsing gevonden signifikante verschillen zijn onderstreept (overschrijdingskans ≤ 0,05).

5.4.2 Korrelgrootteverdeling in relatie tot de geomorfologie

Zowel voor kust- als voor landduinen zijn relaties beschreven tussen de korrelgrootteverdeling van het duinzand en de diverse onderdelen van de duinmorfologie (De Jong, 1951; Depuydt, 1967, 1972; Pernarowski, 1959; Rotnicki, 1970; Nowaczyk, 1976). De verschillen in korrelgrootteverdeling, zoals gekenmerkt door verschillen in mediaan, mate van sortering, scheefheid en kurtosis, van duinzand op laag gelegen (deflatie) oppervlakken, aan de loefzijde gelegen duinflanken, duintoppen en aan de lijzijde gelegen duinflanken zijn volgens Folk (1971) meestal tamelijk gering maar wel konsistent. Bij toename van de transportafstand in duingebieden, en eveneens bij toename van afzettingshoogte van duintopzanden neemt over het algemeen de mate van sortering toe. Dit laatste kan geïllustreerd worden met de figuur 5.9a en b naar Folk (1971) en Glennie (1970). Wat betreft het fijner of grover worden van duintopzanden bij toenemende duinhoogte blijkt, dat dit afhankelijk is van de korrelgrootteverdeling van het herkomstmateriaal. In het geval van figuur 5.9b



Figuur 5.9

a - De relatie tussen de korrelgrootteselektie bij duinvorming en het herkomstmateriaal (naar Folk, 1971). Bij grofkorrelig herkomstmateriaal zijn de duintopzanden (T) fijner en beter gesorteerd dan de duinflankzanden (F) en het herkomstmateriaal (D); bij fijnkorrelig herkomstmateriaal zijn de duintopzanden grover en beter gesorteerd dan de duinflankzanden en het herkomstmateriaal. De wind selekteert de gemakkelijkst salterende korrels rond 180µm uit bij duinakkumulatie, ongeacht de korrelgrootteverdeling van het herkomstmateriaal; dit verschijnsel werd voor het eerst beschreven door Udden (1898)
The relation between grainsize sorting during dune formation and the source material (after Folk, 1971). With a coarse-grained source the dune top sands (T) are finer and better-sorted than the dune flank sands (F) and the source material (D); with a fine-grained source the dune top sands are coarser and better-sorted than the dune flank sands and the source material. During dune accumulation the wind preferably selects the most easily saltating grains around 180µm, irrespective of the grainsize distribution of the source material; this phenomenon was described at first by Udden (1898)

b - De korrelgrootteverdeling van duintopzanden in relatie tot de afzettingshoogte (h) boven een deflatie-oppervlak (naar Glennie, 1970)
The grainsize distribution of dune top sands in relation to the dune height (h) above a deflation surface (after Glennie, 1970)

gaat de toename in de mate van sortering bij toenemende afzettingshoogte gepaard met een afname van de mediaan.

Dit is overigens de normale situatie bij de beschreven Noordwest-Europese landduinen; het omgekeerde komt zelden voor. Depuydt (1972) konkludeert, dat de afzettingshoogte omgekeerd evenredig is met de grootte van de mediaan en de mate van sortering, en recht evenredig met de mate van scheefheid. Volgens Folk (1971) bezitten duintopzanden meestal de grootste (positieve) scheefheid en zijn sterk gepiekt, terwijl de duinflankzanden aan de lijzijde meestal de laagste scheefheid bezitten en matig gepiekt zijn. De waarden voor de scheefheid en de kurtosis van de duinflankzanden op de loefzijde nemen een intermediaire positie in. Pernarowski (1959), Rotnicki (1970) en Nowaczyk (1976) komen in hun landduinonderzoekingen tot min of meer gelijkluidende konklusies:

a. Op de loefzijden (proximale helling) komt gemiddeld wat grover materiaal met een gemiddeld lagere sorteringsgraad voor dan op de lijzijden (distale helling); aan de basis van de loefzijden treedt een relatieve toename van grover materiaal ten opzichte van het overige deel van de loefzijden op; tegen de loefzijden op neemt de korrelgrootte iets af en de mate van sortering iets toe.
b. Op de lijzijden wordt ten opzichte van de duintoppen iets minder gesorteerd, veelal iets grover materiaal aangetroffen door relatief grof materiaal dat over de top en van de distale helling afrolt (Doeglas, 1967); de mate van sortering neemt op de lijzijde toe vanaf de basis naar de top.

Teneinde na te gaan of in de Veluwse stuifzanden bij transport op korte afstand systematische verschillen optreden in korrelgrootteverdeling in afhankelijkheid van de geomorfologie en de afzettingshoogte, zijn de volgende reeksen monsters verzameld: in het Otterlose Bos onderaan de loefzijde, halverwege de loefzijde, op de top en aan de lijzijde van een 10 à 15 meter hoge randwalduin, op dieptes van 10-40 cm - m.v.; in het Spelderholt aan de basis en op de top van een 15 à 20 meter hoog duin, overwegend op een diepte van 90-110 cm - m.v.; in het Mosselse Zand aan de basis en op de top van een ca 10 meter hoog duin, op een diepte van 10-20 cm - m.v.; en aan de basis en op de top van de, in het Otterlose Zand gelegen, 20 à 25 meter hoge Franse Berg, op een diepte van 10-20 cm - m.v. Binnen een geomorfologische eenheid (bij voorbeeld duinflank loefzijde) bedragen de onderlinge afstanden van monsterplaatsen hoogstens enkele tientallen meters; tussen de eenheden bedragen de afstanden hoogstens enkele honderden meters.

De gemiddelde waarden van de percentielen en de korrelgrootte-parameters per geomorfologische eenheid, en het verloop van deze waarden over de diverse eenheden van het duinreliëf staan vermeld in tabel 5.3.

Op grond van deze tabel kunnen de volgende tendenzen aangegeven worden:

1. De duintopzanden worden ten opzichte van de duinbasiszanden gekenmerkt door een geringe toename van de P_5 en een geringe afname van de P_{95}, hetgeen een toename van de mate van sortering inhoudt. Dit is vooral herkenbaar aan een afname van de SOs. In het Otterlose Bos en bij de Franse Berg zijn deze verschillen gering; in het Mosselse Zand en in de grove stuifzanden van het Spelderholt zijn deze verschillen groter.
2. De duintopzanden bezitten in alle gebieden, ten opzichte van de duinbasiszanden, een lagere positieve scheefheid, herkenbaar aan Ska, αs of αl.
3. Tegen de loefzijde van het randwalduin in het Otterlose Bos op neemt de korrelgrootte toe, te zien aan de toename van de P_5, tot en met de P_{95}; de mate van sortering en de scheefheid blijven echter gelijk.
4. De duintopzanden zijn ten opzichte van de duinflankzanden op de loefzijde fijner door afname van P_5 tot en met P_{95} en zijn bovendien iets sterker gesorteerd en hebben een iets lagere positieve scheefheid.
5. De duinflankzanden op de lijzijde zijn, ten opzichte van de duintopzanden, weer iets grover en zijn minder sterk gesorteerd, en hebben een hogere positieve scheefheid.
6. Indien de duinflankzanden op de lijzijde vergeleken worden met de zanden onderaan de loefzijde, blijkt uiteindelijk bij dit transport bijna niets veranderd te zijn.

De gevonden verschillen zijn slechts gering, maar gezien het feit dat de genoemde tendenzen in percentiel- en parameterwaarden, ongeacht de verschillen in korrelgrootteverdeling van de herkomstmaterialen, in alle onderzochte gebieden in dezelfde richtingen verlopen, is het aannemelijk dat de gevonden verschillen niet door toevallige omstandigheden bepaald zijn.

Voor zover het aantal waarnemingen het toeliet, is voor enkele van de hier geformuleerde tendenzen getoetst in hoeverre er sprake is van signifikante verschillen (appendix 3b). De gekonstateerde verschillen tussen de onderdelen van het duinreliëf komen grotendeels overeen met de eerder vermelde konklusies dienaangaande, uit de literatuur. Voor de procesmatige verklaring van de gevonden differentiatie in korrelgrootteverdelingen wordt verwezen naar de uitvoerige studie van Depuydt (1972).

Bij transport over zeer korte afstanden treden in de, naar herkomst reeds sterk gesorteerde, stuifzanden door selektie naar korrelgrootte kennelijk aantoonbare verschillen in kor-

lokatie / location	Otterlose Bos							Spelderholt			Mosselse Zand		Franse Berg		Leuvenumse Bos		N.O./N.E. Veluwe		Veluwe
materiaal en geomorfologie / material and geomorphology	dekzand / cover sand	stuifzand (laag) / drift sand (low position)	onderaan loefzijde / stoss-side base	halverwege loefzijde / stoss-side half way up	duintop / dune top	duintop / dune top	lijzijde / lee-side	dekzand / cover sand	stuifzand (laag) / drift sand (low position)	duintop / dune top	stuifzand (laag) / drift sand (low position)	duintop / dune top	stuifzand (laag) / drift sand (low position)	duintop / dune top	dekzand / cover sand	stuifzand (laag) / drift sand (low position)	dekzand / cover sand	stuifzand (laag) / drift sand (low position)	stuifzand / drift sand
transportrichting, transport direction:	→ → → →							→ → → →			→ → → →		→ → → →		→ → → →		→ → → →		→ →
groepen (volgens tabel 5.1) groups (according to table 5.1)	3	1	4	5	6	2	7	17	15	16	8 (ten dele),(partly)				20	19	22	21	E
aantal monsters number of samples	8	10	9	10	10	10	10	13	25	8	4	5	5	5	6	14	9	7	225

P_5	80	→ 102	106	→ 116	← 111	← 103	← 90	96	→ 105	108	88	→ 93	83	→ 90	96	93	86	85	97
Q_1	130	→ 139	142	→ 150	146	← 140	142	144	→ 149	147	132	135	127	→ 132	124	→ 129	122	→ 130	138
Md	164	→ 170	→ 176	→ 187	← 177	← 170	→ 177	187	190	← 185	165	163	157	160	157	157	157	160	176
Q_3	211	211	→ 228	→ 243	← 218	← 208	→ 228	266	265	← 246	212	← 197	195	195	202	200	213	← 196	223
P_{95}	462	← 341	→ 368	→ 382	← 344	← 327	→ 377	556	← 474	← 431	356	← 297	318	← 300	307	→ 323	368	← 326	355
So	1.27	← 1.23	1.26	1.27	1.24	1.21	→ 1.26	1.35	1.33	← 1.29	1.26	← 1.21	1.24	1.21	1.28	← 1.24	1.34	← 1.23	1.27
QDa	41	← 36	→ 42.5	46	← 36	34	→ 43	61	58	← 49	40	← 31	34	31	39	36	48	← 38	43
SOs	191	← 119	→ 130	133	← 117	← 112	114	230	← 184	← 162	134	← 102	117	← 105	122	← 115	158	← 120	132
Ska	+6.3	5.2	→ 9	10	← 4.9	3.5	→ 8.4	17.6	17.1	← 11.4	7	3	4	3	6.2	6.8	3.4	3.4	+8.5
αs	+213	← 103	→ 122	124	← 98	← 91	→ 113	278	← 199	← 169	115	← 65	87	← 69	82	→ 101	123	← 91	+114
α1	+2.43	← 1.32	→ 1.39	← 1.30	1.30	1.30	1.30	2.26	← 1.67	1.65	1.42	← 1.00	1.21	← 1.05	1.12	→ 1.35	1.27	1.28	+1.30
Kg	1.86	← 1.40	← 1.25	← 1.17	→ 1.32	1.35	→ 1.41	1.54	← 1.41	1.34	1.37	← 1.30	1.38	1.35	1.36	← 1.30	1.43	1.46	1.35

Tabel 5.3 Het verloop van de korrelgroottepercentielen en -parameters in relatie tot de geomorfologie en bij de resedimentatie van dekzand naar stuifzand in enige Veluwse stuifzandgebieden

Table 5.3 The changes in grainsize percentile values and graphical parameters in relation to the geomorphology. and due to the resedimentation of cover sand as drift sand in several drift sand areas on the Veluwe

relgrootteverdeling op tussen de onderdelen van relatief grote duinvormen. Het is dus weliswaar mogelijk verschillen in korrelgrootteverdeling aan te wijzen tussen de diverse onderdelen van het stuifzandreliëf, maar dat wil niet zeggen dat na een lange transportweg door selektieprocessen ook belangrijke verschillen in korrelgrootteverdeling zullen optreden; hierop wijst de tendens vermeld bij 6. Uit paragraaf 5.4.1 bleek reeds, dat de invloed van de korrelgrootteverdeling van het lokale herkomstmateriaal op de korrelgrootteverdeling van het stuifzand groter is dan de invloed van transportkondities en -lengte.

5.4.3 Verschillen tussen stuif- en dekzanden

Volgens Ter Wee (1966) en Van den Toorn (1967) hebben de stuifzanden in Drente respektievelijk Noord-Brabant een korrelgrootteverdeling, die sterk overeenkomt met die van de ter plaatse aanwezige dekzanden, al zijn de stuifzanden gewoonlijk iets grover dan de dekzanden. Bodemprofielvorming beïnvloedt de korrelgrootteverdeling van stuifzanden niet en van dekzanden slechts in zeer beperkte mate. In haarpodsolen in dekzand wordt in de A- en B-horizonten een geringe toename in de frakties < 105 µm gevonden, terwijl in de A1- en B2-horizonten ook een geringe toename in de fraktie < 2 µm aangetroffen wordt ten opzichte van het niet door bodemvorming beïnvloede moedermateriaal, dat de hoogste sorteringsgraad bezit (Pape, 1970; De Bakker & Edelman-Vlam, 1976).

In een viertal stuifzandgebieden (groepen 3, 17, 20 en 22 - Otterlose Bos, Spelderholt, Leuvenumse Bos en Noordoost-Veluwe) is niet door bodemvorming beïnvloed dekzand bemonsterd, voorkomend onder door stuifzanddekken begraven bodemprofielen. Het grootste deel van deze zanden heeft een korrelgrootteverdeling, die overeenkomt met die van de 'normale' stuifzanden, d.w.z. dat er sprake is van leemarme, zeer fijne tot matig fijne dekzanden. Het betreft hier Jonger Dekzand II. In de Noord- en Noordoost-Veluwse stuifzandgebieden zijn in enkele gevallen zwak en sterk lemige, zeer fijne dekzanden aangetroffen; het betreft hier waarschijnlijk overstoven, lemig Ouder Dekzand. Materiaal < 16 µm werd in de bemonsterde Midden- en

Oost-Veluwse dekzanden nauwelijks aangetroffen, behalve in enkele 'rode zanden', die een hoger percentage lemige bestanddelen bevatten. De dekzanden werden bemonsterd op diepten variërend van 50-300 cm - m.v. (appendix 3a).

De korrelgrootteverdelingen van de stuifzanden vertonen veel overeenkomst met die van de dekzanden uit dezelfde regio's (figuur 5.4 en tabel 5.1). De dekzandindices in figuur 5.5 b geven ten opzichte van die voor de stuifzanden gemiddeld iets hogere kwartiel- en percentieldeviaties aan. De mediaan voor alle stuifzanden (hoofdgroep E) is praktisch gelijk aan die van de dekzanden (D). Voor het overige is het verloop van de indices bij toe- of afnemende korrelgrootte van de dekzanden gelijk aan die van de stuifzanden. Voor de dekzanden gelden dan ook dezelfde konklusies als die welke in dit verband (figuur 5.5) voor de stuifzanden zijn geformuleerd.

Op grond van tabel 5.3 en de spreidingsdiagrammen (figuren 5.6, 5.7 en 5.8) kunnen de volgende overeenkomsten en verschillen tussen de in tabel 5.1 onderscheiden groepen en hoofdgroepen betreffende dekzanden en in dezelfde regio's voorkomende stuifzanden opgemerkt worden:

1. De stuifzanden worden ten opzichte van de dekzanden uit dezelfde gebieden over het algemeen gekenmerkt door een afname van de fijne 'staarten' van de korrelgrootteverdeling (toename Q_1 en soms van P_5) en van de grove 'staarten' (afname P_{95} en soms van Q_3); in de mediaanwaarden vindt geen verandering van betekenis plaats.
2. Ten gevolge van het hierboven staande bezitten de stuifzanden over het algemeen een hogere mate van sortering dan de dekzanden (afname van So, QDa en SOs).
3. Wat de scheefheid betreft vindt over het algemeen ten gevolge van resedimentatie een afname van de positieve scheefheid plaats (afname αs en $\alpha 1$), met als uitzondering op deze regel de stuifzanden in het Leuvenumse Bos, waar de dekzanden reeds een gemiddeld lage positieve scheefheid bezitten. Dit laatste houdt verband met het relatief fijne uitgangsmateriaal in dit gebied, waardoor tijdens resedimentatie, die de best salteerbare frakties koncentreert, zelfs een geringe toename van de grove 'staart' optreedt (toename van P_{95}) in tegenstelling tot de normale situatie in de Veluwse stuifzanden.
4. De gepiektheid van de stuifzandverdelingen is over het algemeen lager dan die van de naar regio overeenkomstige dekzanden. De afnames in scheefheid en gepiektheid zijn in overeenstemming met de gegevens van Depuydt (1972), die bij voortgaand transport van kustduinzanden in landinwaartse richting soortgelijke afnames vond.
5. De stuifzanden op de Noord- en Noordoost-Veluwe (groepen 19 en 21) hebben parameters die relatief weinig afwijken van de dekzanden in deze gebieden (groepen 20 en 22).
6. Ondanks de besproken verschillen in parameters tussen stuif- en dekzanden bestaat er per regio een duidelijke verwantschap tussen de korrelgrootteverdelingen van de daar voorkomende stuif- en dekzanden. De verschillen per regio zijn geringer dan die tussen de regio's.

Alhoewel het betrokken aantal dekzandmonsters tamelijk laag is, is met behulp van de Kolmogorov-Smirnov 'two-sample test' getoetst in hoeverre de besproken verschillen tussen stuif- en dekzanden in de diverse stuifzandgebieden en in het algemeen signifikant zijn (appendix 3b).

De op grond van deze toetsing gevonden, signifikante verschillen zijn onderstreept. Alhoewel dus uit de analyseresultaten blijkt, dat de Veluwse stuifzanden ten opzichte van de er mee samenhangende dekzanden over het algemeen beter gesorteerd zijn en een vaak lagere positieve scheefheid en een lagere gepiektheid bezitten, is er geen sprake van, dat stuifzanden onderscheiden kunnen worden van dekzanden op grond van de korrelgrootteverdeling.

6 KORRELSAMENSTELLING

6.1 Inleiding

Bestudering van de minerale bestanddelen van stuifzanden is verricht teneinde in samenhang met de textuureigenschappen van deze sedimenten te bepalen of verschillen in samenstelling optreden tussen diverse stuifzandregio's en tussen stuifzanden en dekzanden, en door welke faktoren de optredende overeenkomsten en verschillen in samenstelling bepaald kunnen zijn. Friedman (1961) stelt dat de mineralogie van sedimenten in vele gevallen een nauwkeurige reflektie vormt van de aard van het herkomstmateriaal, terwijl de textuurparameters daarentegen voornamelijk gerelateerd zijn aan de wijze van transport en de energiekondities van het transporterende agens. Uit hoofdstuk 5 bleek echter reeds het uniforme karakter wat granulometrie betreft van de onderzochte dekzanden en de grotendeels hieruit door verstuiving gevormde stuifzanden. Tevens wordt op grond van de literatuurgegevens en het veldonderzoek een sterke mate van overeenkomst in samenstelling van de dekzanden en daaruit ontstane stuifzanden verwacht.

Het onderzoek naar de samenstelling is voornamelijk gericht op het onderkennen en verklaren van eventuele verschillen veroorzaakt tijdens het proces van verstuiving en of ten gevolge van de resedimentatie van wat samenstelling betreft verschillende herkomstmaterialen. Tijdens herhaald eolisch transport van zanden kan een selektie optreden naar korrelgrootte (hoofdstuk 5), korrelvorm (hoofdstuk 7) en wat in dit hoofdstuk vooral van belang is, tevens naar het soortelijk gewicht van de korrels, ten gevolge van verschillen in de wijze van transport en afzetting. Het optreden van korrelselektie naar grootte, vorm en soortelijk gewicht is overigens onderling afhankelijk in die zin, dat korrels met verschillend soortelijk gewicht voor kunnen komen in specifieke korrelgrootteklassen en gekenmerkt kunnen worden door bepaalde korrelvormen. Naast de aard van het herkomstmateriaal kan de selektie naar korrel-soortelijk gewicht tijdens transport dus van invloed zijn op de samenstelling van het materiaal.

Om de stuifzandsamenstelling te kunnen karakteriseren en om de eventuele invloed van selektie naar soortelijk gewicht te kunnen opsporen is voor een eerste indruk het gehalte aan gekleurde korrels van de dominerende korrelgroottefraktie in stuifzand bepaald. Vervolgens is van monsters afkomstig van diverse materialen in een aantal Veluwse stuidzandregio's het gewichtspercentage zware mineralen van de belangrijkste korrelgroottefrakties bepaald. Tenslotte is van een beperkt aantal monsters de zware mineralen samenstelling bepaald.

6.2 Hoeveelheden gekleurde korrels

Teneinde op een relatief snelle wijze een indruk te krijgen van de samenstelling van de Veluwse stuifzanden en de hierin eventueel optredende verschillen zijn de aantallen min of meer ondoorzichtige, sterk gekleurde korrels in diverse korrelgroottefrakties van een aantal stuifzandmonsters bepaald. Bij de keuze van de te onderzoeken zandmonsters is uitgegaan van de volgende vraagstelling: a. hoe is het verloop van de aantallen gekleurde komponenten over de diverse korrelgroottefrakties, b. bestaan er regionale verschillen in de gehalten aan gekleurde korrels in afhankelijkheid van herkomstmateriaal of andere faktoren, c. bestaan er verschillen in deze gehalten binnen één stuifzandregio in afhankelijkheid van de afzettingshoogte, d. bestaan er verschillen in deze gehalten tussen stuifzanden en de hiermee samenhangende dekzanden?

De eenvoudige plakband-methode voor het gefraktioneerd tellen van gekleurde korrels in zanden is geïntroduceerd door Maarleveld (1966). De voorbehandeling van de onderzochte monsters is gelijk aan die, welke uitgevoerd werd voor de granulaire analyse. Een geringe hoeveelheid van een korrelgroottefraktie wordt op 2 cm breed doorzichtig plakband gestrooid; het plakband wordt omgedraaid om de los liggende korrels te verwijderen en wordt vervolgens op een objektglaasje bevestigd. Door de gelijkmatige verdeling van de éénkorreldikke laag zand op het kleefoppervlak van het plakband is het mogelijk de cirkeldiameter te bepalen waarbinnen een bepaald aantal korrels van een bepaalde fraktiegrootte voorkomt. Op basis van de door Maarleveld (1966) langs fotografische weg bepaalde cirkeldiameters, waarbinnen een duizendtal korrels valt, voor drie door hem gebruikte korrelgroottefrakties, zijn de cirkeldiameters voor de volgende fraktiegrenzen door extrapolatie berekend:

fraktie	diameter	aantal korrels	
50 - 75µm	2,4 mm	1000	
75 - 105µm	4,0 mm	1000	(Maarleveld, 1966)
105 - 150µm	5,8 mm	1000	
150 - 210µm	7,8 mm	1000	,,
210 - 300µm	10,4 mm	1000	
300 - 420µm	10,2 mm	500	,,
420 - 600µm	13,6 mm	500	

De gekleurde korrels kunnen met een stereomikroskoop met een beweegbare objektieftafel, geteld worden door onder het objekt-

glaasje, waarop het plakband met korrels is bevestigd, een tweede objektglaasje met daarop aangebrachte cirkels te leggen. Bij grote aantallen gekleurde korrels verdient het overigens de voorkeur de benodigde cirkeldiameters op filmmateriaal op het objektglaasje met het plakband te leggen of in het okulair een meetplaatje aan te brengen met daarin gegraveerde cirkels met diameters, die korresponderen met de benodigde cirkeldiameters op het beeldvlak van het objektglaasje bij bepaalde vergrotingen.

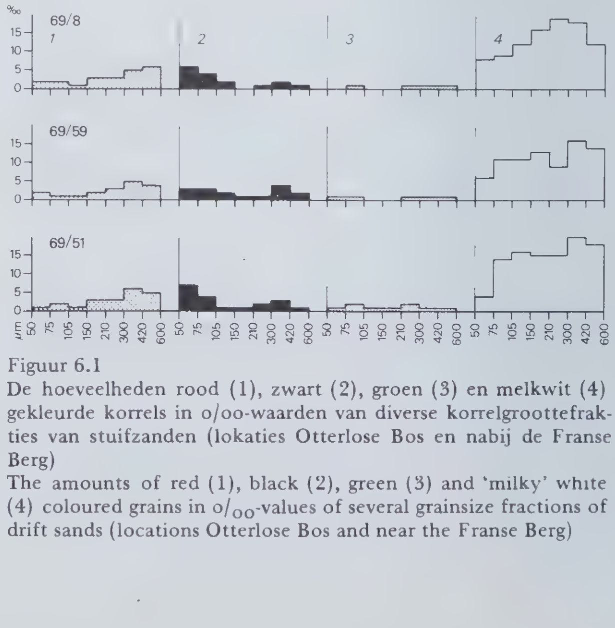
Per korrelgroottefraktie werden de gekleurde korrels binnen vijf cirkels geteld, terwijl tevens van de gefraktioneerde monsters duplo's vervaardigd en geteld zijn. De aantallen gekleurde korrels kunnen op deze wijze direkt in $^{o}/oo$ waarden ten opzichte van de totale hoeveelheid onderzochte zandkorrels bepaald worden. De ondoorschijnende melkwitte korrels zijn geteld op een zwarte ondergrond. De geheel rood, zwart of groen gekleurde, grotendeels ondoorschijnende korrels zijn geteld op een witte ondergrond. De zwak of ten dele gekleurde, veelal doorschijnende korrels zijn niet meegeteld. Voor meer informatie over deze wijze van zandanalyse wordt verwezen naar Maarleveld (1966, 1968).

De belangrijkste doelstelling van het plakband-onderzoek is een eerste, snelle selektie mogelijk te maken van grote groepen monsters, die in gehalten aan gekleurde korrels verschillen en verder mineralogisch onderzoek van de zware of lichte fraktie rechtvaardigen. Om beide methoden van onderzoek vergelijkbaar te maken werd door De Roever et al. (1975) van een hoeveelheid van 1 gram monster de zware mineralen fraktie afgescheiden en kompleet bepaald. Hierdoor verkreeg men, zoals bij de plakband-tellingen, samenstellingswaarden per gewichtshoeveelheid (aantal x soortelijk gewicht) monstermateriaal. Evenals de mineralogische samenstelling qua lichte en zware mineralen afhankelijk is van de korrelgrootteverdeling en van de onderzochte korrelgroottefraktie is dat ook het geval bij de gehalten aan gekleurde korrels. Maarleveld (1968) vond bij een uitgebreid plakband-onderzoek van Nederlandse dekzanden de volgende tendenzen in de promillages gekleurde korrels in de frakties 75-105 µm, 150-210 µm en 300-420 µm: de rode korrels komen meer voor in de grofste fraktie; de zwarte korrels komen in ongeveer gelijke aantallen voor in de frakties 150-210 µm en 300-420 µm, maar nemen sterk toe bij de fraktie 75-105 µm; het aantal groene korrels neemt toe naar de fijnste fraktie; de melkwitte korrels komen eveneens meer voor in de fijnste fraktie. Voor onderzochte stuifzanden respektievelijk dekzanden in Midden-Nederland geeft Maarleveld (1968) de volgende gemiddelde $^{o}/oo$ waarden:

	75-105µm		150-210µm		300-420µm	
	zwart	wit	zwart	wit	zwart	wit
stuifzand Vel./Utr.	2	35	1	30	<1	19
dekzand Vel./Utr.	4	39	1	32	1	17
dekzand Geld. Vall.	2	23	1	22	<1	18

Maarleveld (1968) kwam tot de konklusie, dat de aantallen gekleurde korrels in de stuifzanden van de Veluwe en in Utrecht bijna identiek zijn aan die in de aldaar voorkomende dekzanden met uitzondering van de aantallen zwarte korrels. De dekzanden in de Gelderse Vallei worden ten opzichte van deze gebieden echter gekenmerkt door een lager aantal witte korrels. Voor de omgrenzing van de diverse Nederlandse dekzand- en stuifzandgebieden werden door Maarleveld (1968) karakteristiek geachte associaties van aantallen gekleurde korrels opgesteld, die zowel gebaseerd zijn op de tellingen zelf als op de geologische en geomorfologische gesteldheid van deze gebieden. De gegevens van Kolstrup (1975), die plakband-tellingen verrichtte van wind- en rivierafzettingen langs de oostelijke Veluwerand en in de IJsselvallei, wijzen op een zwakke toename van de aantallen rode korrels bij toename van de korrelgrootte, een toename van de aantallen zwarte korrels bij toename van de korrelgrootte in de rivierafzettingen, een ongeveer gelijk blijvend promillage van de witte korrels en een toename van de aantallen restkorrels (zwak of ten dele gekleurd) bij toename van de korrelgrootte.

Van een aantal Veluwse stuifzandmonsters zijn de aantallen gekleurde korrels geteld van de frakties 50-75µm tot en met 420-600µm. In figuur 6.1 is als voorbeeld een drietal gefraktioneerde analyses van stuifzanden weergegeven, afkomstig van de basis van het randwalduin van het Otterlose Bos (monsternummer 69/8), en



Figuur 6.1
De hoeveelheden rood (1), zwart (2), groen (3) en melkwit (4) gekleurde korrels in o/oo-waarden van diverse korrelgroottefrakties van stuifzanden (lokaties Otterlose Bos en nabij de Franse Berg)
The amounts of red (1), black (2), green (3) and 'milky' white (4) coloured grains in $o/_{oo}$-values of several grainsize fractions of drift sands (locations Otterlose Bos and near the Franse Berg)

van de top (69/59) en de basis (69/51) van het randwalduin de Franse Berg. De hier gekonstateerde zwakke toename van het aantal rode korrels bij toename van de korrelgrootte, de zwakke onregelmatige toename van de aantallen zwarte korrels bij afname van de korrelgrootte en het lage gelijkblijvende aantal groene korrels komen overeen met de gegevens van Maarleveld (1968) en Kolstrup (1975). Het aantal melkwitte korrels neemt toe in de grove frakties.

Voor een nader onderzoek naar eventuele regionale verschillen is de fraktie 150-210µm geanalyseerd, waardoor de invloed van de korrelgroottefraktie op de samenstelling uitgesloten wordt. De fraktie 150-210µm is gekozen omdat deze fraktie dominant voorkomt in de stuifzanden en een redelijk aantal gekleurde korrels bevat, zodat eventuele verschillen met deze fraktie inderdaad opgespoord kunnen worden. De onderzochte monsters zijn gegroepeerd naar type materiaal, regio en geomorfologische situatie; met andere woorden alleen op grond van veldkriteria. Van de aldus gevormde groepen zijn in tabel 6.1 de gemiddelde waarden en de variatiebreedten van de aantallen gekleurde korrels vermeld. De meeste stuifzandmonsters zijn verzameld op een diepte tussen 10 en 40 cm - m.v. De geanalyseerde monsters bestaan voor een groot deel uit monsterparen van dezelfde lokatie, hetzelfde materiaal en gelijke bemonsteringsdiepte (appendix 4).

Uit de tellingen blijkt, dat de verschillen tussen de afzonderlijke monsters van de monsterparen in dezelfde orde van grootte liggen als de verschillen, die bestaan tussen de gemiddelden van de monstergroepen. Dicht onder de oppervlakte in de stuifzanden worden veelal iets lagere waarden bereikt dan dieper in het profiel. Uit tabel 6.1 blijkt dat, in de wat gehalten aan gekleurde korrels betreft, zeer uniforme stuifzanden geen onderscheid gemaakt kan worden tussen de diverse regio's. Evenmin is een aantoonbaar verschil aangetroffen tussen de groepen monsters afkomstig van de loefzijde, top en lijzijde van het randwalduin in het Otterlose Bos. Ook de aantallen gekleurde korrels in de dekzandmonsters en enkele pre- en fluvio-glaciale materialen komen overeen met die voor de stuifzanden. De gevonden waarden zijn overigens ongeveer identiek aan die voor windafzettingen elders volgens gegevens van Kolstrup (1975) en De Roever et al. (1976). De in de onderzochte, Veluwse stuif- en dekzanden gevonden uniforme waarden voor de gehalten aan gekleurde korrels wijzen er tevens op dat de geringe verschillen in korrelgrootteverdeling van deze materialen geen aantoonbare invloed hebben op de gehalten aan gekleurde korrels in de onderzochte fraktie van 150-210µm.

De door Maarleveld (1968) gesuggereerde relatie tussen een afname van het aantal gekleurde (voornamelijk melkwitte) korrels en een toename van de transportweg ten oosten van de IJssel en nabij Bergen op Zoom kan voor de Veluwse stuifzanden niet aangetoond worden. De uniforme gehalten in de Veluwse stuif- en dekzanden kunnen de volgende genetische betekenis hebben: a. de stuifzanden bestaan uit lokaal verstoven, wat gehalten gekleurde korrels betreft, zeer uniforme dekzanden, en of b. de invloed

lokatie en materiaal location and material	rood red m	 v	zwart black m	 v	groen green m	 v	wit white m	 v	 n
Zuidwest- en Midden-Veluwse stuifzanden, drift sands of the southwestern and central Veluwe	2	1-4.5	1	0-2	1	0-2.5	13	8-28	48
Midden-Veluwse stuifzanden, Otterlose Bos (onderaan loefzijde randwalduin), drift sands of the central Veluwe, Otterlose Bos (stoss-side base bordering dune ridge)	3	1,5-4	1	0.5-1.5	1.5	0.5-3	15	12-21	10
(halverwege loefzijde randwalduin) (stoss-side half-way up bordering dune ridge)	3	2-3.5	1	0.5-1.5	1.5	0.5-2	15	10-17	10
(top randwalduin), (top bordering dune ridge)	2.5	1.5-3.5	1	0-1.5	1	0-2	13	7-18	10
(lijzijde randwalduin), (lee-side bordering dune ridge)	2	1-3	1	0-2	1	0.5-2	15	8-17	10
Oost- en Zuidoost-Veluwse stuifzanden, drift sands of the eastern and southeastern Veluwe	3.0	1-4.5	1	0-2	1	0-2	14	10-20	24
Noord-Veluwse stuifzanden, drift sands of the northern Veluwe	2	1-3	1	0.5-1	0.5	0-1	12	8-17	12
overwegend Noord-Veluwse dekzanden, cover sands predominantly of the northern Veluwe	1	0.5-2.5	1	0-2	0.5	0-2.5	13	8-20	16
overwegend Noord-Veluwse pre- en fluvio-glaciale materialen, pre- and fluvial-glacial materials predominantly of the northern Veluwe	2	1-3.5	1.5	1-2.5	0.5	0-2	13	8-17	8
stuifzanden Veluwe (algemeen), drift sands of the Veluwe (in general)	2-3.5	0.5-4.5	1-1.5	0-2.5	0.5-1.5	0-3	12-15	7-28	124
Ter vergelijking: For comparison:									
stuifzanden Veluwe (volgens Maarleveld, 1968), drift sands of the Veluwe (after Maarleveld, 1968)			<1				30		
dekzanden Veluwe (volgens Maarleveld, 1968), cover sands (after Maarleveld, 1968)			1				32		
dekzanden omgeving Meppel (volgens De Roever et al., 1976) fraktie 75-105 µm, cover sands near Meppel (after De Roever et al., 1976) fraction 75-105 µm	±1		±4		±1		±18		
windafzettingen oostelijke Veluwerand (volgens Kolstrup, 1975), eolian deposits eastern fringe of the Veluwe (after Kolstrup, 1975)	1-3		1-3		±0.4		12-18		
rivierafzettingen IJssel Vallei (volgens Kolstrup, 1975) fluvial deposits IJssel Vallei (after Kolstrup, 1975)	4-10		20-35		1-2		20-30		

Tabel 6.1 Gemiddelden (m) en variatiebreedten (v) van de aantallen gekleurde korrels in °/oo waarden in de fraktie 150-210 µm van Veluwse stuifzanden, dekzanden en andere afzettingen (n = aantal monsters)

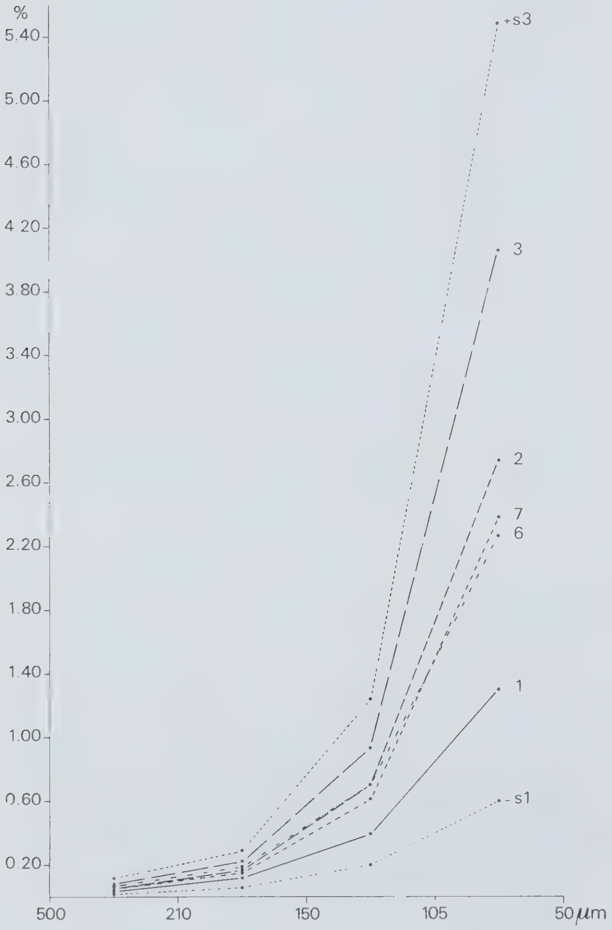
Table 6.1 Mean (m) and extreme values (v) of the numbers of coloured grains in °/oo values of the fraction 150-210 µm of drift sands, cover sands and other deposits on the Veluwe (n = number of samples)

gr.	n	500-50 µm (A) m	s	v	500-210 µm (B) m	s	v	210-150 µm (C) m	s	v	n	150-105 µm (D) m	s	v	105-50 µm (E) m	s	v
1	13	0.30	0.17	0.11-0.74	0.04	0.02	0.02-0.09	0.12	0.06	0.04-0.26	18	0.39	0.19	0.15-0.86	1.30	0.70	0.33-2.92
2	15	0.56	0.23	0.16-1.09	0.05	0.01	0.02-0.08	0.17	0.04	0.11-0.26	15	0.70	0.14	0.46-0.99	2.73	0.93	1.23-4.84
3	7	0.31	0.13	0.15-0.54	0.08	0.04	0.04-0.14	0.22	0.07	0.14-0.32	15	0.93	0.30	0.17-1.32	4.05	1.42	1.78-6.23
4	5	0.41	0.10	0.32-0.54	0.05	0.02	0.03-0.07	0.11	0.02	0.10-0.14	5	0.37	0.11	0.26-0.51	0.99	0.39	0.61-1.59
5	4	0.11	0.04	0.08-0.17	0.04	0.01	0.03-0.06	0.14	0.03	0.11-0.18	4	0.42	0.06	0.34-0.49	1.35	0.16	1.20-1.57
6	16	0.43	0.27	0.14-1.32	0.06	0.04	0.02-0.15	0.18	0.10	0.05-0.38	30	0.70	0.39	0.13-1.67	2.26	1.32	0.20-4.79
7	44	0.39	0.22	0.08-1.09	0.05	0.02	0.02-0.14	0.16	0.06	0.04-0.32	57	0.61	0.30	0.15-1.32	2.38	1.51	0.33-6.23

Tabel 6.2 Gemiddelden (m), standaarddeviaties (s) en variatiebreedten (v) van de gewichtspercentages zware mineralen van Veluwse stuifzanden en dekzanden (n = aantal monsters)
indeling monstergroepen: 1 - Noord-Veluwse stuifzanden, 2 - Midden-Veluwse stuifzanden, 3 - Oost-Veluwse stuifzanden, 4 - stuifzandprofiel Stroese Zand, 5 - stuifzandprofiel Terlet, 6 - Veluwse dekzanden, 7 - groepen 1 + 2 + 3 + 4 + 5

Table 6.2 Mean (m), standard deviation (s) and extreme values (v) of the weight percentages of heavy minerals of drift sands and cover sands of the Veluwe (n = number of samples)
sample groups: 1 - drift sands of the northern Veluwe, 2 - drift sands of the central Veluwe, 3 - drift sands of the eastern Veluwe, 4 - drift sand profile Stroese Zand, 5 - drift sand profile Terlet, 6 - cover sands of the Veluwe, 7 - groups 1 + 2 + 3 + 4 + 5

van het transportmechanisme, de lengte van de transportweg en de hoogte van afzetting op deze gehalten is verwaarloosbaar klein. Gezien het negatieve resultaat van de plakband-tellingen en het te verwachten tamelijk uniforme karakter



Figuur 6.2
De toename van de gemiddelde gewichtspercentages zware mineralen bij afname van de korrelgrootte van stuif- en dekzanden; 1, 2, 3, 6 en 7 komen overeen met de monstergroepen in tabel 6.2; als grenswaarden zijn aangegeven het laagste groepsgemiddelde (1) - de bijbehorende standaarddeviatie (-s1) en het hoogste groepsgemiddelde (3) + de bijbehorende standaarddeviatie (+s3)
The increase in mean weight percentages of heavy minerals with decreasing grainsize of drift and cover sands; 1, 2, 3, 6 and 7 correspond with the sample groups in table 6.2; the lowest mean value for group 1 minus the corresponding standard deviation (-s1) and the highest mean value for group 3 plus the corresponding standard deviation (+s3) are indicated as limiting values

van de qua zware mineralen samenstelling armelijke, Veluwse stuifzanden en Jongere dekzanden (Crommelin, 1964, 1965a), is hiernaar slechts beperkt onderzoek verricht.

6.3 Gewichtspercentages zware mineralen

Van monsters afkomstig uit een aantal Veluwse stuifzandgebieden zijn de gewichtspercentages zware mineralen bepaald van de frakties 50-105µm, 105-150µm, 150-210µm, 210-500µm en van de gezamenlijke fraktie 50-500µm. Hiertoe hebben de monsters een voorbehandeling gekregen met 10% H_2O_2, 0,5 N HCl en 5% $Na_2S_2O_4$, vervolgens zijn de frakties afgezonderd door nat zeven en is de zware mineralen fraktie afgescheiden met behulp van bromoform (S. gew.2,89). Hierbij is uitgegaan van ca 1 gram materiaal van de fraktie 50-105µm en ca 10 gram van de frakties > 105µm. Alle gewichtspercentages staan vermeld in appendix 5, en zijn samengevat in enkele groepen in tabel 6.2. Hier zijn op vergelijkbare wijze als in de andere hoofdstukken over materiaalonderzoek de afzonderlijke monstergegevens samengevoegd in enkele groepen, bestaande uit stuifzandmonsters van diverse Veluwse stuifzandgebieden en dekzandmonsters. De gemiddelde waarden, de standaarddeviaties en de variatiebreedten per monstergroep zijn bepaald en worden onderling en met soortgelijke gegevens uit de literatuur over windafzettingen vergeleken.

6.3.1 Gewichtspercentages zware mineralen in relatie tot de korrelgrootteverdeling

Uit tabel 6.2 blijkt, dat in alle gevallen het gewichtspercentage zware mineralen toeneemt bij afname van de korrelgrootte. Deze sterke toename is weergegeven voor de gemiddelde waarden van de onderscheiden monstergroepen in figuur 6.2, waarin tevens de zone is aangegeven waarbinnen het grootste deel van de waarden valt ($m_{max.(3)} + s_{(3)}$ en $m_{min.(1)} - s_{(1)}$). Eisma (1968) vond voor duin- en strandzanden ten zuiden van Bergen een nog sterkere toename van de gewichtspercentages zware mineralen van

ca 0,10% (200-315µm) tot ca 3,5% (100-160µm), waarbij vermeld wordt dat de duinzanden aanzienlijk lagere percentages bezitten dan de strandzanden. Ook in duinzanden met zeer hoge gewichtpercentages zware mineralen (ca 30-40%) in de fraktie 105-150µm wordt een sterke toename van de percentages bij afname van de korrelgrootte gevonden (Eisma, 1968; Seppälä, 1971). Crommelin & Slotboom (1945) vermelden het optreden van granaatrijke strandzandlagen, waarin de zware mineralen sterk geconcentreerd zijn in de frakties < 210µm.

Uit figuur 6.2 en tabel 6.2 blijkt, dat de lage waarden voor de percentages in de frakties 150-210µm en 210-500µm weliswaar een geringe spreiding bezitten, maar tevens een grote mate van overlapping, die net zoals de waarden van de gezamenlijke fraktie 50-500µm geen enkele onderscheiding tussen de onderzochte monstergroepen mogelijk maken. De veel hogere waarden voor de twee fijne frakties bezitten een grotere spreiding, maar tevens een geringere overlapping van de waarden van de verschillende monstergroepen.

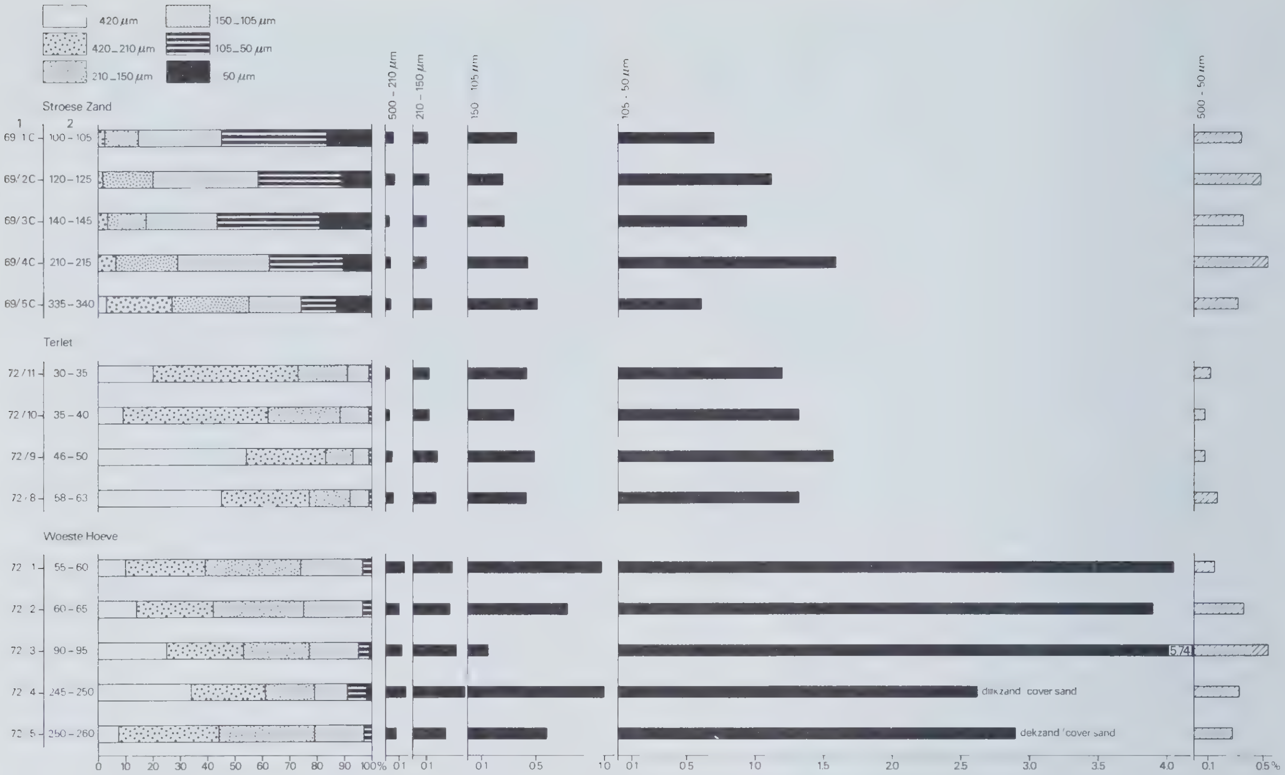
Van alle waarden tezamen van de groepen 1 t/m 6 (n= 60) voor de vijf geanalyseerde frakties is nagegaan in hoeverre de bepaalde gewichtspercentages per monster onderling gerelateerd zijn. Dit is gedaan om te kunnen bepalen in hoeverre de mate van toename van de gewichtspercentages zware mineralen bij afname van de korrelgrootte, ongeacht de absolute waarden, gelijkvormig is voor de onderzochte monsters. Hiertoe zijn de Spearman korrelatie-koëfficiënten bepaald en uitgezet in de volgende korrelatiematrix:

	A 500-50µm	B(sign.) 500-210µm	C(sign.) 210-150µm	D(sign.) 150-105µm	E(sign.) 105-50µm
A	1,00	0,19 (0,11)	0,25 (0,04)	0,48 (0,001)	0,47 (0,001)
B		1,00	0,60 (0,001)	0,49 (0,001)	0,55 (0,001)
C			1,00	0,65 (0,001)	0,54 (0,001)
D				1,00	0,68 (0,001)
E					1,00

De korrelatie-koëfficiënt blijkt groter te worden naarmate fijnere frakties onderling vergeleken worden. Ook de lagere korrelatie-koëfficiënten voor de gevallen waarbij de fraktie 50-500µm (A), die alle andere frakties omvat, vergeleken wordt met de andere frakties, worden groter naarmate die andere frakties fijner worden. De bepaalde korrelatie-koëfficiënten zijn met uitzondering van die tussen de frakties A en B significant. Uit de korrelatiematrix volgt, dat de gewichtspercentages zware mineralen van de verschillende korrelgroottefrakties onderling zwak tot matig gekorreleerd zijn.

De gewichtspercentages zware mineralen voor de fraktie 50-500µm zijn meestal iets lager dan de waarden voor de fraktie 105-150 µm. Bij vergelijking van de gewichtspercentages zware mineralen met de overeenkomstige korrelgrootteverdelingen (figuur 6.3) valt op, dat afgezien van absolute verschillen in de gewichtspercentages in de drie onderzochte profielen, het verloop van de percentages over de diverse frakties min of meer gelijksoortig is. Met andere woorden, de grofheid of fijnheid van het materiaal heeft weinig of geen invloed op de verdeling van de percentages over de afzonderlijke frakties. De voor stuifzanden extreem fijne zanden van het profiel in het Stroese Zand hebben een 'normaal' percentage in de gezamenlijke fraktie 50-500µm, ondanks de lage waarden in de dominant voorkomende fijne frakties. De voor stuifzanden extreem grove zanden van het profiel nabij Terlet hebben daarentegen een laag percentage in de fraktie 50-500µm, dankzij het dominant voorkomen van de grovere frakties met de daarbij behorende lage percentages. De eveneens zeer grove stuifzanden van het profiel Woeste Hoeve bezitten ondanks de bijzonder hoge gewichtspercentages in de frakties < 150µm toch een normaal percentage in de fraktie 50-500µm. Het begrip 'normaal' is hier gebruikt als de waarden vallen binnen het gemiddelde ± standaarddeviatie voor alle onderzochte stuifzanden ($m_7 \pm s$ = 0,39 ± 0,22). De uitzonderlijk hoge percentages voor de frakties 50-105µm en 105-150µm in de stuifzanden van het profiel Woeste Hoeve hebben dus weinig te maken met de korrelgrootteverdeling van het materiaal, maar zullen verklaard moeten worden als gevolg van een toevallige aanrijking met mineralogisch rijker materiaal afkomstig uit de lokale ondergrond of, wat minder waarschijnlijk is, veroorzaakt zijn door korrelselektie naar soortelijk gewicht tijdens intensief en of langdurig windtransport.

Volgens Eisma (1968) veroorzaakt korrelselektie qua soortelijk gewicht over het algemeen slechts geringe verschillen in zware mineralen percentages en associaties. In bijzondere situaties zoals op duinhellingen kunnen op erosievlakken soortelijk zwaardere korrels gekoncentreerd worden. Sindowski (1956) bespreekt het optreden van koncentraties van zware mineralen in de troggen van, bij hoge windsnelheden migrerende windribbels ten gevolge van selektie naar soortelijk gewicht. De invloed van de korrelgrootte op het gewichtspercentage zware minera-



Figuur 6.3
De korrelgrootteverdeling en de gewichtspercentages zware mineralen van diverse korrelgroottefrakties van drie stuifzandprofielen
The grainsize distribution and the weight percentages of heavy minerals of several grainsize fractions of three drift sand profiles
1 - monsternummer/sample number, 2 - bemonsteringsdiepte in cm - m.v./sampling depth in cm below surface

len en de zware mineralen associaties kan zoveel mogelijk worden geëlimineerd door het materiaal gefraktioneerd te onderzoeken. Door Eisma (1968) en Seppälä (1971) wordt besproken dat, selektie naar soortelijk gewicht evenwel nog steeds van invloed kan zijn op de gevonden gefraktioneerde resultaten. Aangezien een korrel met een hoog soortelijk gewicht (aerodynamisch) equivalent is aan een grotere korrel met een lager soortelijk gewicht zal de relatieve hoeveelheid korrels met hoog soortelijk gewicht in een afzetting door dezelfde processen bepaald kunnen zijn als de relatieve hoeveelheid grotere korrels met lager soortelijk gewicht. Hetgeen betekent, dat de frequenties van korrels van verschillend soortelijk gewicht in één korrelgroottefraktie min of meer gerelateerd zijn aan de korrelgrootteverdeling van het gehele monster. Ook bij vergelijking van de gewichtspercentages zware mineralen van één fraktie dient de korrelgrootteverdeling dus betrokken te worden. Hierbij komt nog dat vele mineraalsoorten overwegend voorkomen in specifieke korrelgroottefrakties en aangezien het soortelijk gewicht afhankelijk is van de chemische samenstelling en de struktuur, bestaat er theoretisch een oorzakelijk verband tussen de mineralogische en granulometrische samenstelling (Zonneveld, 1946; Van Harten, 1972).

Nagegaan is of er een relatie aangetoond kan worden tussen de gewichtspercentages zware mineralen in een bepaalde fraktie en het totale gewichtspercentage van dezelfde fraktie volgens de korrelgrootteverdeling (G= fraktie 50-105µm, F= fraktie 105-150µm; gegevens korrelgrootteverdeling zie appendix 3a). Omdat de waarden van de fraktie 50-105µm en 105-150µm een grote spreiding bezitten, zijn voor deze frakties de Spearman korrelatie-koëfficiënten bepaald en spreidingsdiagrammen vervaardigd voor alle monsterwaarden (groep 1 t/m 6, n= 60).

gew. perc. zware min.	totaal gew. perc.	korr.koëff. (sign.)	vergelijking regressielijn
50-105µm			
E	G	-0,30 (0,01)	E=2,45-0,04 G
105-150µm			
D	F	-0,19 (0,13)	D=0,71-0,004 F

Dit betekent dat alleen in de fraktie 50-105µm een weliswaar signifikante, maar zwakke korrelatie bestaat tussen de gewichtspercentages zware mineralen en de totale gewichtspercentages. De laatste waarden zijn gebruikt als maat voor de korrelgrootteverdeling. Bij een afname van G neemt de waarde van E over het algemeen toe. Aangezien een laag percentage G veelal overeenkomt met een hoog percentage in de modale stuifzandfraktie van 150-210µm, kan

gekonkludeerd worden dat in de best gesorteerde stuifzanden een hoog totaal gewichtspercentage in de fraktie 150-210μm samen kan gaan met een relatief hoog gewichtspercentage zware mineralen in de fraktie 50-105μm. Met andere woorden: de qua soortelijk gewicht zwaardere korrels in de fraktie 50-105μm gedragen zich tijdens transport en afzetting op gelijke wijze als de qua soortelijk gewicht lichtere korrels in de fraktie 150-210μm.

6.3.2 Gewichtspercentages zware mineralen in relatie tot de bodemvorming

Bij vergelijking van gewichtspercentages zware mineralen in bepaalde frakties dient tevens de diepte van monstername (invloed verwering en bodemvorming) betrokken te worden (Van der Marel, 1949; De Jong, 1957; Stiboka, 1965a; Eisma, 1968; Pape, 1970). Uit figuur 6.3 blijkt, dat er in de drie onderzochte profielen geen eenvoudige relatie bestaat tussen de gewichtspercentages zware mineralen van welke fraktie dan ook en de bemonsteringsdiepte in de stuifzandprofielen. Teneinde na te gaan of er in de onderzochte monstergroepen een relatie aangetoond kan worden tussen de percentages en de bemonsteringsdiepten (H) zijn van deze waarden de Spearman korrelatie-koëfficiënten bepaald voor de monsters afkomstig uit de groepen 6 en 7 afzonderlijk. De korrelatie-koëfficiënten zijn vermeld in de volgende korrelatiematrix:

bemonsterings-diepte (H)	frakties, korr.koëff. (sign.) A	B	C	D	E
groep 6(n=16)	0,01	0,52	0,60	0,43	0,55
(dekzanden)	(0,96)	(0,04)	(0,01)	(0,09)	(0,03)
groep 8(n=44)	-0,14	0,19	-0,13	-0,26	-0,09
(stuifzanden)	(0,38)	(0,22)	(0,41)	(0,09)	(0,57)

Dit betekent dat voor de, door zwakke of afwezige invloed van bodemvorming gekenmerkte stuifzanden geen signifikante korrelatie bestaat tussen de gewichtspercentages zware mineralen van welke fraktie dan ook en de diepte. Voor de dekzanden echter bestaat er een sterkere, voor de frakties B, C en E signifikante korrelatie met de diepte.

De in de dekzandprofielen gekonstateerde toename van de percentages met de diepte houdt verband met de hierin optredende bodemvorming. In de onder stuifzanddekken vaak voorkomende humuspodsolen in dekzand neemt in de fraktie 150-210μm het gewichtspercentage zware mineralen toe van 0,05 in de A1-, 0,06 in de A2-, 0,10 in de B2- naar 0,20 in de BC- horizont, terwijl in de mineralogisch wat rijkere moderpodsolen een soortgelijke toename van 0,15 in de A1- naar ca 0,40 in de C-horizont waarneembaar is (Stiboka, 1965b; Pape, 1970). Vooral in de humuspodsolen is naast deze toename ook een toename van het percentage veldspaten (van ca 4% in de A- naar ca 11% in de B3-horizont, in de fraktie 150-210μm) met de diepte, een toename van het percentage gemakkelijk verweerbare mineralen met de diepte, en tenslotte een afname van het percentage opake mineralen met de diepte gekonstateerd. Volgens Knibbe (1969) gaat in humuspodsolen een sterke bodemvorming zowel in de A- als in de B-horizont samen met een aanzienlijke verwering van de zware mineralen tot een diepte van ca 60 cm.
Urbaniak (1966) vond trouwens zelfs in duinzanden in het bovenste, struktuurloze deel een hoger percentage moeilijk verweerbare mineralen.
In stuifzanden, die voor een belangrijk deel bestaan uit over korte afstand getransporteerd, door profielvorming beïnvloed dekzandmateriaal, kunnen lage gewichtspercentages zware mineralen verwacht worden. Enkele onderzochte monsters afkomstig van onder stuifzanddekken gelegen zware oude bouwlanddekken bezitten overigens extreem lage gewichtspercentages zware mineralen in alle frakties; zelfs voor de fraktie 50-105μm lagen de waarden lager dan 0,25%.

6.3.3 Gewichtspercentages zware mineralen in relatie tot het type materiaal en de regionale verbreiding

Nu gebleken is, dat a. de verdeling van de gewichtspercentages over de diverse frakties niet gerelateerd is aan de korrelgrootteverdeling van het materiaal, b. de absolute waarden van de percentages voor de frakties evenmin gerelateerd kunnen worden aan de korrelgrootteverdeling van het materiaal en c. geen invloed van bodemvorming op de percentages in de stuifzanden aanwezig is, kunnen de voorkomende verschillen in gewichtspercentages zware mineralen tussen de in tabel 6.2 onderscheiden monstergroepen direkt geïnterpreteerd worden. Alleen de twee fijnste frakties zijn hierbij betrokken.
De gemiddelde waarden van de twee fijnste frakties (mD en mE) voor de Oost-Veluwse stuifzanden (3) zijn duidelijk hoger dan die voor de Midden-Veluwse stuifzanden (2), die op hun beurt weer duidelijk hoger zijn dan die voor de Noord-Veluwse stuifzanden (1). Alhoewel de berekende standaarddeviaties voor de groepen 1, 2 en 3 voor de twee fijnste frakties tamelijk hoog zijn, blijkt uit het hier onderstaande dat de gewichtspercentages zware mineralen voor deze drie regio's elkaar slechts in geringe mate overlappen:

	150-105 μm	105-50 μm
m1 ± s1	0,20-0,58%	0,60-2,00%
m2 ± s2	0,56-0,84%	1,80-3,66%
m3 ± s3	0,63-1,23%	2,63-5,47%

De grove stuifzanden op de stuwwal van de oostelijke Veluwe bezitten dus in de fijnere frakties verreweg de hoogste gewichtspercentages zware mineralen. Ter vergelijking worden de gemiddelde waarden vermeld, die gevonden zijn in enkele onderzochte pre- en fluvio-glaciale materialen: 0,65% (fraktie 500-50 µm), 0,06% (500-210 µm), 0,25% (210-150 µm), 0,90% (150-105 µm) en 2,93% (105-50 µm). Wanneer alle onderzochte stuifzanden (7) samen worden genomen, blijken de gemiddelde waarden hiervan ongeveer gelijk te zijn aan die van de Midden-Veluwse stuifzanden. De Veluwse dekzanden, die in groep 6 vanwege het beperkte aantal monsters zijn samen genomen, bezitten waarden gelijk aan die van de stuifzanden (7). Wanneer echter de dekzanden eveneens uitgesplitst worden in dezelfde regio's, dan blijken de onderzochte dekzandmonsters van de Oost-Veluwe ook hogere gewichtspercentages zware mineralen te bevatten dan die voor de Noord- en Midden-Veluwe.

Crommelin (1964) en Schoonderbeek (1965) vonden in het C-materiaal van Midden-Nederlandse Jonge dekzanden iets hogere gewichtspercentages (ca 0,30%; fraktie 150-210 µm) dan in Oude dekzanden (ca 0,27%). De Veluwse stuifzanden bezitten echter in dezelfde fraktie slechts een gemiddeld percentage van 0,16. Al deze waarden zijn overigens aanzienlijk hoger dan de gemiddelde percentages in Noord- en Zuid-Nederlandse Jonge dekzanden (ca 0,08%) en Oude dekzanden (ca 0,06%). Crommelin (1964) meent dat deze geringe toename veroorzaakt is door het optreden van een selektie naar soortelijk gewicht tijdens resedimentatie. Ter adstruktie hiervan vermeldt Crommelin (1964), dat het percentage granaat (met een hoog soortelijk gewicht) in Veluwse Jonge dekzanden (fraktie 150-210µm) ca 19% is en dat in Oude dekzanden ca 15%. In Belgische dekzanden vond De Ploey (1961) een soortgelijke toename.

6.4 Mineralogische samenstelling

In tegenstelling tot de veelvuldig onderzochte mineralogische samenstelling van Nederlandse dekzanden is die van de stuifzanden, voorzover bekend, nooit afzonderlijk bestudeerd. De Veluwse stuifzanden bestaan voor meestal > 99% uit materiaal van de lichte fraktie en < 1% uit de zware fraktie. Wat de lichte fraktie betreft is van een aantal monsters, afkomstig van aktieve stuifzanden van het Otterlose en Rozendaalse Zand, het veldspaatgehalte in de fraktie 150-210µm bepaald door etsing met HF, behandeling met aluminon en vervolgens telling van de baksteenrood-verkleurde korrels (Donker, 1970). Het percentage veldspaat in de stuifzanden is tamelijk uniform en varieert van 13-16%; de rest van het materiaal bestaat overwegend uit kwarts.

In niet door bodemvorming beïnvloede dekzanden komen min of meer gelijke percentages veldspaten voor. In een humuspodsol respektievelijk moderpodsol in dekzand (fraktie 150-210µm) neemt het percentage veldspaat met de diepte als volgt toe (Stiboka, 1965; Pape, 1970):

	A1, 2-hor.	B2-hor.	B3/C-hor.
humuspodsol			
K-veldspaten	2	4- 8	7
plagioklazen	2	3	4
	4%	7-11%	11%
moderpodsol			
K-veldspaten	5,5	6,5	7-12
plagioklazen	1,5	3,5	5
	7%	10%	12-17%

Ook in de kustduinzanden komen vergelijkbare hoeveelheden veldspaten voor volgens Eisma (1968):

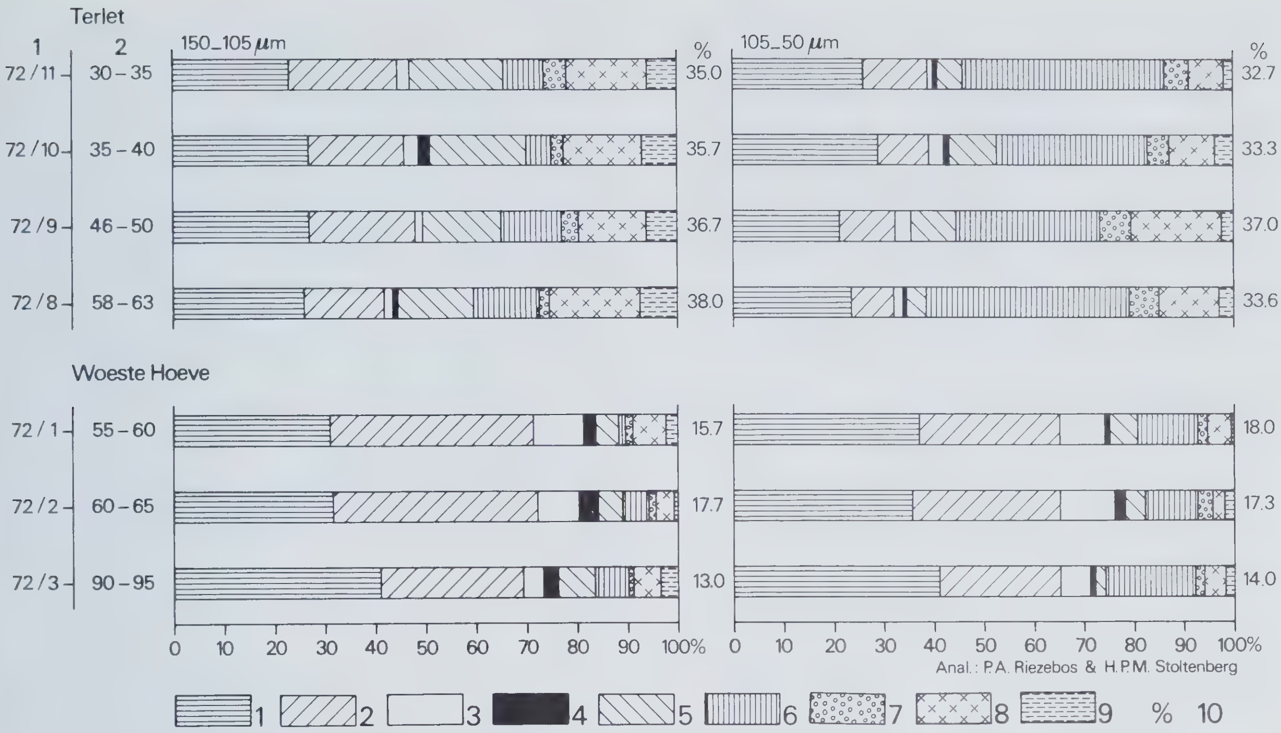
	K-veldspaten	plagioklazen	totaal
ten noorden van Bergen			
fraktie 160-200µm	ca 8%	ca 2%	ca 10%
totaal			6- 8%
ten zuiden van Bergen			
fraktie 160-200µm	ca 6%	ca 7%	ca 13%
totaal			13-17%

De percentages veldspaat nemen over het algemeen toe bij afname van de korrelgrootte en bereiken veelal de hoogste waarden (ca 16-24%) in de loessfrakties (Riezebos, 1971; Catt et al., 1974).

Wat de zware mineralen betreft geeft Crommelin (1964) van enige Veluwse dekzandlokaties de globale samenstelling van de fraktie 150-210µm in procenten:

granaat	toermalijn/ metam.min.	epidoot/ saussuriet	amfibool/ pyroxeen
Jonge dekzanden			
ca 19	ca 12	ca 57	ca 12
Oude dekzanden			
ca 15	ca 13	ca 59	ca 13

Het is mogelijk dat stuifzandlagen, afkomstig van in de direkte nabijheid verstoven A1-, A2- en B2h-horizonten van het oorspronkelijke podsolprofiel, een geringer percentage alteriet, epidoot, amfibool en pyroxeen en een hoger percentage granaat bevatten, dan het onderliggende niet door bodemvorming beïnvloede



Figuur 6.4
De zware mineralen samenstelling van twee stuifzandprofielen
The heavy mineral composition of two drift sand profiles
1 - monsternummer/sample number, 2 - bemonsteringsdiepte in cm - m.v./sampling depth in cm below surface
legenda/legend: 1 - granaat/garnet, 2 - epidoot/epidote, 3 - amfibool/amphibole, 4 - pyroxeen/pyroxene, 5 - toermalijn/tourmaline, 6 - zirkoon/zircon, 7 - rutiel/rutile, 8 - stauroliet/staurolite, 9 -restgroep/other grains, 10 - opake korrels/opaque grains

dekzandmateriaal ten gevolge van tijdens de podsolisatie optredende verwering van deze mineralen, zoals beschreven is door Sevink et al., (1970) en Vink & Sevink (1971) voor overstoven podsolen in het Dinkeldal. Levelt & Wensink (1973) vermelden echter, dat zowel de zware als de lichte mineralen samenstelling in dekzanden en stuifzanden over het algemeen bijna gelijk zijn.

Gefraktioneerd mineralogisch onderzoek is verricht aan stuifzandmonsters afkomstig van de lokaties Stroese Zand, Terlet en Woeste Hoeve. De bij deze lokaties behorende bodemprofiel- en materiaalbeschrijvingen worden gegeven in de hoofdstukken 9 (Stroese Zand en Terlet) en 10 (Woeste Hoeve) bij de besprekingen van de mikro-morfologische, respektievelijk palynologische analyse van deze profielen. Uit figuur 6.3 bleek, dat de – beide uit relatief grof stuifzand bestaande – profielen van Terlet en Woeste Hoeve sterk afwijken in gewichtspercentages zware mineralen vooral voor de twee fijnste frakties. Nagegaan is of deze verschillen in gewichtspercentages ook overeenkomen met verschillen in zware mineralen samenstelling (figuur 6.4).

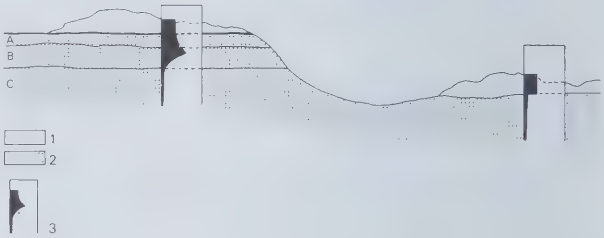
De beide stuifzandprofielen blijken zowel in de gegeven zware mineralen samenstelling als in percentages opake korrels inderdaad van elkaar te verschillen. De stuifzanden van Woeste Hoeve bevatten in beide onderzochte frakties (50-105μm en 105-150μm) meer granaat, epidoot, amfibool en pyroxeen, minder toermalijn, zirkoon, rutiel en stauroliet en minder opake korrels dan de stuifzanden van Terlet. De restgroep bestaat uit de mineralen distheen, andalusiet, sillimaniet, chloritoïd, titaniet, chloriet, apatiet en anataas. De invloed van de korrelgrootte op de zware mineralen samenstelling uit zich vooral in een afname van de percentages epidoot en toermalijn en een toename van zirkoon in de fraktie 50-105μm ten opzichte van de fraktie 105-150μm. De zware mineralen samenstelling van de stuifzanden vertoont, zoals verwacht, veel overeenkomst met die van de Veluwse dekzanden (Crommelin, 1964).

Het stuifzand van de lokatie Terlet heeft aanzienlijk hogere percentages opake korrels in beide onderzochte frakties dan het stuifzand van de lokatie Woeste Hoeve. Oriënterend onderzoek naar de ertsmineralogische samenstelling van de opake fraktie wijst uit, dat ook hierin een opvallend verschil tussen beide lokaties bestaat (mond. med. P A. Riezebos, 1975). De stuifzanden van de lokaties Terlet en Woeste Hoeve blijken dus te verschillen in zowel gehalte en samenstelling van de zware mineralen fraktie, als in gehalte en samenstelling van de opake fraktie. Deze verschillen in mineralogische samenstelling kunnen niet verklaard worden door verschil-

len in korrelgrootteverdeling. De gevonden verschillen worden toegeschreven aan verschillen in ter plaatse voorkomend herkomstmateriaal, die bewaard zijn gebleven tijdens de lokale resedimentatie van het materiaal. Eventuele verschillen in mineralogische samenstelling van stuifzanden ten gevolge van afwijkende transport- en afzettingskondities en verschillen in lengte van de transportweg kunnen op deze wijze niet aangetoond worden.

Samenvattend kan worden gesteld dat: a. de gehalten aan gekleurde korrels in de diverse stuifzandgebieden en tussen de stuif- en dekzanden weinig of geen verschillen laten zien; b. de stuif- en dekzanden per regio min of meer gelijke gewichtspercentages zware mineralen bevatten en een overeenkomstige mineralogische samenstelling bezitten; c. tussen de stuifzandgebieden verschillen bestaan in gehalte en samenstelling van de zware mineralen fraktie. Hieruit wordt gekonkludeerd dat de invloed van de aard van het herkomstmateriaal op de mineralogische samenstelling veel belangrijker is dan de invloed van korrelselektie naar soortelijk gewicht tijdens transport en afzetting. De invloed van korrelselektie naar soortelijk gewicht, evenals naar vorm, wordt bij deze tamelijk uniforme en mineralogisch arme windafzettingen in Nederland wel eens overschat (Veenstra & Winkelmolen, 1971).

Ook door kleimineralogisch onderzoek kunnen verschillen aangetoond worden tussen stuif- en dekzanden, ondanks het feit dat het percentage < 2 μm in Jongere dekzanden en in stuifzanden nooit meer dan ca 1% bedraagt. Er zijn aanwijzingen, dat in de A2- en B2h-horizonten van podsolen in dekzand ten gevolge van bodemvormende processen een hoger gehalte aan 14Å mineralen ('bodemchloriet') aanwezig is dan in het niet door bodemvorming beïnvloede dekzand (Sevink et al., 1970; Vink & Sevink, 1971). Wanneer nu vervolgens stuifzanden ontstaan door op zeer lokale schaal verstuiven van deze A- en B-horizonten in dekzand, dan hebben ze van meet af aan een kleimineralogische samenstelling, die zich door een hoger percentage bodemchloriet onderscheidt van het niet door bodemvorming beïnvloede dekzand. Deze situatie is schematisch weergegeven in figuur 6.5. Daar waar stuifzand ligt op niet door bodemvorming beïnvloed dekzand (d.w.z. opgestoven stuifzand in een uitgestoven laagte) kan het in bepaalde gevallen hogere bodemchlorietgehalte in het stuifzand mogelijk een differentiërend kenmerk vormen.



Figuur 6.5
Schematische weergave van het voorkomen van bodemchloriet in stuif- en dekzanden (naar Levelt & Wensink, 1973)
Schematic representation of the occurrence of 'soil chlorite' in drift and cover sands (after Levelt & Wensink, 1973)
1 - stuifzand/drift sand, 2 - (A B C)-horizonten van een podsolprofiel in dekzand/(A B C) horizons of a podzol profile in cover sand, 3 - maat voor de hoeveelheid bodemchloriet in de kleifraktie/relative amounts of 'soil chlorite' in the clay fraction

7 KORRELAFRONDING EN – OPPERVLAKTE-EIGENSCHAPPEN

7.1 Inleiding

In verband met de rekonstruktie van afzettingskondities bestaat over morfoskopisch onderzoek van kwartskorrels veel literatuur. Het meeste onderzoek is verricht aan kustduinzanden, terwijl van de Nederlandse stuifzanden tot nu toe vrijwel geen gegevens ter beschikking staan. Het morfoskopisch onderzoek is, daar bij stuifzanden een eenzijdig herkomstgebied ontbreekt, voornamelijk gericht op een inventarisatie van afrondings- en oppervlakte-eigenschappen van deze zanden en de ermee samenhangende dekzanden. Verder is aandacht besteed aan eventuele onderlinge verschillen in afrondingsgraad van het materiaal van de diverse Veluwse stuifzandgebieden, en van onderdelen binnen één stuifzandgebied. Tenslotte zijn in samenhang met het afrondingsonderzoek, de oppervlakte-eigenschappen van stuifzand-kwartskorrels geïnventariseerd.

Ter bepaling van geometrische vorm-, afrondings- en oppervlaktetextuur-eigenschappen ('shape-variables') van kwartszandkorrels zijn vele methoden ontwikkeld, die gebaseerd zijn op zowel visuele kenmerken als op mechanische eigenschappen (Köster, 1964; Pettijohn et al., 1972):

a. Gebruikte vorm ('sphericity') parameters zijn ondermeer de 'sphericity index', 'maximum-projection sphericity', 'index of longness' en 'form index'. Ze zijn gebaseerd op tweedimensionale, geschatte of gemeten, visuele kenmerken. Afgezien van het feit, dat bij toename van de korrelgrootte de sphericity van de zandkorrels over het algemeen toeneemt, wordt er hierbij veelal van uitgegaan dat de zandkorrels tijdens het transport meer en meer naar een equidimensionale vorm toegaan. Dit wordt echter volgens Kummer (1970) voornamelijk door de korrelvormverdeling van het herkomstmateriaal bepaald.
b. Daarnaast zijn methoden ontwikkeld om de graad van afronding en de graad van hoekigheid ('roundness' en 'angularity') van kwartskorrels langs visuele weg te bepalen. De mate van afronding wordt hier niet bepaald door de geometrische korrelvorm, maar door de hoedanigheid van kanten en ribben, of de aanwezigheid daarvan. Een hoge afrondingsgraad wordt meestal in verband gebracht met een kombinatie van de volgende faktoren: afgerond herkomstmateriaal, zeer lange transportweg, intensieve bewerking in een specifiek milieu, en een langdurige resedimentatie. De mate van afronding neemt over het algemeen toe bij toenemende korrelgrootte.
c. Aangezien zowel vorm- als afrondingskarakteristieken meestal geen direkte indikatie geven voor het sedimentatiemilieu, zijn eveneens methoden ontwikkeld om in navolging van de 'dynamic shape factor' van McCullogh et al. (1960) de funktionele vorm te bepalen. Getracht wordt parameters te vinden die in overeenstemming zijn met het hydro- (aero-) dynamische gedrag van het sediment tijdens transport en afzetting, en aldus faciële onderscheidingen mogelijk maken. De essentie van de funktionele vorm is dat deze de verhouding bepaalt tussen de massakrachten (gewicht) die op korrels in het zwaartepunt aangrijpen, en de voortsleurende of vertragende krachten van het transportmedium die op het oppervlak aangrijpen (Winkelmolen, 1969).
Gebruikte funktionele vormparameters zijn de 'pivotability' en 'rollability', die omschreven kunnen worden als de neiging van korrels een rollende beweging op een helling te beginnen of voort te zetten. Teneinde de subjektiviteit van visuele onderscheidingen uit te sluiten en in plaats van de vaak tijdrovende en moeilijk te meten geometrische vormindices zijn mechanische hulpmiddelen gekonstrueerd ter bepaling van dynamische vormparameters, ondermeer de graniformameter door Krygowski (1964) en de rolbaarheidscylinder door Kuenen (1963) en Winkelmolen (1969).
Vergelijkend onderzoek naar vorm en afronding heeft uitsluitend zin bij eenzelfde mineraaltype en korrelgroottefraktie. Verreweg het meeste onderzoek is verricht aan de zeer resistente kwartskorrels. Bij morfoskopisch onderzoek naar de herkomst van windafzettingen en de tijdens transport en afzetting van invloed zijnde processen – vooral vormselektie – is het door Winkelmolen (1969) en Veenstra & Winkelmolen (1971) uitgewerkte begrip 'deposit-repository' van belang. Tijdens transport treedt een selektie qua grootte, soortelijk gewicht en of vorm op, waarbij de oorspronkelijke populatie gesplitst wordt in een populatie van de 'lag deposit' en een populatie van de 'receiving deposit' met komplementaire eigenschappen.
d. In navolging van Cailleux (1942), Kuenen & Perdok (1962) en Köster (1964) kunnen kwartskorrels ingedeeld worden in een aantal klassen op grond van de, bij geringe ver-

grotingen zichtbare aard van het oppervlak. Over de oorzaken van ontstaan van sterk gematteerde kwartskorreloppervlakken, welke vaak als typerend voor windafzettingen worden beschouwd, bestaat geen eenstemmigheid. Hierop wordt nader ingegaan in paragraaf 7.5.

e. Met de ontwikkeling van de scanning elektronen-mikroskopie kwam de mogelijkheid korreloppervlaktetexturen bij sterke vergrotingen (> 10.000 x) te bestuderen. Oppervlaktetexturen op kwartskorrels wijzen volgens Krinsley & Doornkamp (1973) bijna altijd op opeenvolgende afzettingsmilieus; zelden hebben de laatste afzettingskondities het gehele korreloppervlak beïnvloed. Verder dient bij de interpretatie rekening gehouden te worden met de kwartskristallografie.

7.2 Abrasie en vormselektie tijdens windtransport

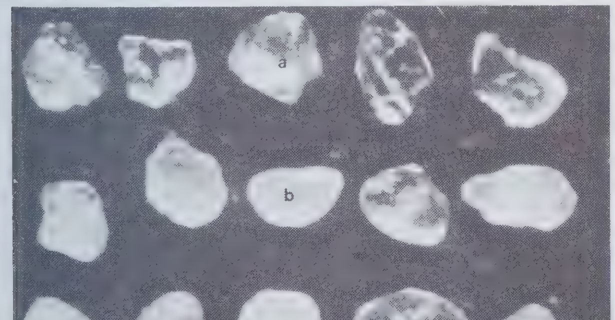
Mechanische afronding van zand in een eolisch milieu is alleen effektief met salterend zand, waardoor zowel de saltatiefraktie zelf als het grovere materiaal (> ca 500 μm) geabradeerd kan worden. Kuenen (1960) toonde experimenteel aan, dat bij gelijke transportweg eolische abrasie van kwartskorrels 100-1000 maal sneller gaat dan in een fluviatiel milieu en tevens, dat bij toename van de transportweg een toename van de mate van afronding ten gevolge van abrasie optreedt. Eolische abrasie vindt volgens Kuenen (1960) niet meer plaats beneden 50 μm ten gevolge van de te geringe inslagsnelheden. Volgens Pachur (1966) is dit het geval bij korrels < 125 μm. Winkelmolen (1969) meent zelfs, dat korrels kleiner dan ca 500 μm tijdens het transport nauwelijks meer van vorm veranderen, maar dat voornamelijk vormselektie plaatsvindt. Abrasie neemt over het algemeen toe met de korrelgrootte, de windsnelheid, de hoekigheid en de ruwheid van het korreloppervlak. Door abrasie veroorzaakt gewichtsverlies van kwartskorrels neemt snel af met afnemende korrelgrootte en met toenemende afronding (Sindowski, 1956; Kuenen, 1960); dit houdt in een progressieve afname van de snelheid van het afrondingsproces (Kummer, 1970). Een aantal onderzoekers is van mening, dat het belangrijkste mechanisme van abrasie, dat tijdens eolisch transport optreedt, 'chipping' (of 'spalling') is, hetgeen inhoudt, dat van de uitstekende delen (hoeken en ribben) van de kwartskorrels splinters worden afgeslagen. De afgeslagen splinters zijn voor het grootste deel < 2 μm (Kuenen, 1960).

In paragraaf 6.3 werd besproken dat bij windtransport naast selektie in korrelgrootte en soortelijk gewicht ook een selektie naar korrelvorm kan optreden. Faktoren die hierbij een rol spelen zijn de grootte en aard van het oppervlak van de korrels per gewichtseenheid, waarop de sleepkracht van de wind, de wrijvingskracht en de zwaartekracht inwerken. Aangezien hierover echter geen eenstemmigheid bestaat (Mattox, 1955; Sindowski, 1956), wordt hierop slechts ten dele ingegaan. Bij hoge windsnelheden, waarbij grote hoeveelheden materiaal vervoerd worden, speelt de sortering naar korrelvorm een ondergeschikte rol, omdat de wind in staat is al het daarvoor beschikbare materiaal, ongeacht de korrelvorm, op te nemen. Williams (1964), die met behulp van een windtunnel onderzoek verrichtte naar de korrelgrootte- en vormverdeling van zand op verschillende transporthoogten, relateert voor het eerst de wijze van vormselektie aan de transporterende windsnelheden. Hij konkludeert, dat bij lage windsnelheden hoekige korrels (lage 'threshold velocity') preferent opgenomen worden, en dat de snelheid van sedimenttransport toeneemt bij een afname in bolvormigheid. Bij matige en hoge windsnelheden worden alle hoekige en bolvormige korrels, bij overschrijding van hoge 'threshold velocity', door de wind opgenomen, waarbij de bolvormige korrels een hogere transportsnelheid — grotere saltatiehoogte — bereiken en dus dominant voorkomen in de 'receiving' afzetting. Williams (1964) vond tevens dat, ongeacht de windsnelheid, korrels een grotere spronghoogte bereiken bij toename van bolvormigheid. Morfoskopisch onderzoek van Kuenen (1963), Eisma (1965) en Winkelmolen (1969) legt de nadruk op de vormselektie zoals die optreedt bij de overgang strandzand — duinzand. Omdat deze onderzoekers verschillende vormparameters hebben gebruikt, is een onderlinge vergelijking van de resultaten slechts beperkt mogelijk.

Eisma (1965) behandelt de invloed van de windsnelheid op de korrelvormselektie, uitgedrukt met behulp van het begrip afronding. Hij is van mening, dat zowel rollend als salterend transport een preferentie heeft voor goed afgeronde korrels. Dit is in overeenstemming met de opvatting van Sindowski (1956). Transport in suspensie daarentegen heeft een preferentie voor slecht afgeronde korrels, dankzij de grotere sleepkracht per gewichtseenheid. Het feit dat fijne duinzanden over het algemeen beter afgerond zijn dan fijne strandzanden kan volgens hem mede verklaard worden door de opname en verder landinwaarts transport in suspensie van slecht afgeronde korrels. Eisma (1965) komt tot de konklusie, dat bij hoge windsnelheden, als transport van alle frakties mogelijk is, in duinzanden een toename van de mate van afronding optreedt. Bij lage windsnelheden zal verhoudingsgewijs meer slecht afgerond materiaal in de fijnere frakties

naar de duinen getransporteerd kunnen worden. De toename van de afronding in duinzanden zal vooral merkbaar zijn in de grove en zeer fijne frakties; in de tussenliggende zandfrakties zal weinig verschil optreden met het herkomstmateriaal. Winkelmolen (1969) is op basis van experimenteel onderzoek van mening, dat bij transport van strandzand naar duinzand de volgende korrelvormselektie plaats vindt: vooral de slecht rolbare korrels van de grovere zandfrakties worden getransporteerd naar de duinen, omdat de goed rolbare deeltjes hechter in de bodempakking opgenomen zouden worden; in de saltatiefraktie worden op den duur eveneens de slecht rolbare deeltjes gekoncentreerd; van de fijnere zandfrakties, waarvan de slecht rolbare korrels het meest stabiel zijn in suspensie en grotendeels verder landinwaarts afgezet kunnen worden, zal voornamelijk het goed rolbare materiaal in de duinen afgezet worden. De duinzanden ('receiving deposit') worden aldus gekenmerkt door een toename van de rolbaarheid bij een afname van de korrelgrootte.

Volgens Van Straaten (1963) zijn de Nederlandse landduinzanden overigens over het algemeen minder sterk afgerond dan de kustduinzanden. Een faktor die in verband met de korrelvorm nog niet vermeld is, is de mineralogische samenstelling van de herkomstafzettingen. Zo worden veelal Nederlandse stuif- en dekzanden gekenmerkt door de afwezigheid van glimmers in de dominerende zandfrakties. Glimmers kunnen tijdens eolisch transport in de rollende of salterende fraktie relatief snel door abrasie verkleind worden. Bovendien kunnen de glimmers door hun grote korreloppervlak per gewichtseenheid relatief gemakkelijk in suspensie geraken en blijven, en daardoor uitgeselekteerd worden.



Figuur 7.1
Afrondingsklassen in stuifzand, fraktie 210-300μm
Roundness classes in drift sand, fraction 210-300μm
a - ZZ/Z afgerond/VW/W rounded, b - N afgerond/M rounded, c - S afgerond/S rounded, d - ZS afgerond/VS rounded

7.3 Methode van afrondingsonderzoek

Het afrondingsonderzoek werd uitgevoerd volgens de methode Kummer (1970), waarvan hieronder een korte samenvatting volgt. De monsters hebben een chemische voorbehandeling gekregen, gelijk aan die voor de granulaire analyse. Per onderzochte korrelgroottefraktie zijn 100 kwartskorrels op een willekeurige wijze afgezonderd en regelmatig gerangschikt op een objektglas. Met behulp van een binokulair mikroskoop bij vergrotingen van 10 tot 100 maal en opvallend, konvergerend licht zijn alle korrels ingedeeld in één van de zeven afrondingsklassen en is de afrondingsindex op de volgende wijze bepaald (Kummer, 1970):

klasse	symbool	numerieke waarde	voorbeeld aantal korrels	produktgetal
hoekig	H	0	1	-
zeer zwak afgerond	ZZ	1	2	2
zwak afgerond	Z	2	22	44
normaal afgerond	N	4	60	240
sterk afgerond	S	6	13	78
zeer sterk afgerond	ZS	7	2	14
oviform	0	8	-	-
				378

$$\text{afrondingsindex (A.I.\%)} = \frac{378}{800} \times 100\% = 47\%$$

Figuur 7.1 illustreert de afrondingsklassen waartoe de meeste korrels behoren. Kriteria voor klassifikatie in één van de afrondingsklassen worden uitvoeriger besproken door Kummer (1970). Door toekenning van een numerieke waarde aan iedere afrondingsklasse wordt een afrondingsindex bepaald, waarbij de som van de produktgetallen uitgedrukt wordt als percentage van de maximaal bereikbare afrondingsindex. De som van de produktgetallen bereikt een theoretisch maximum van 800, wanneer alle 100 korrels in de oviform-klasse ingedeeld zijn, in welk geval de afrondingsindex 100% bedraagt.

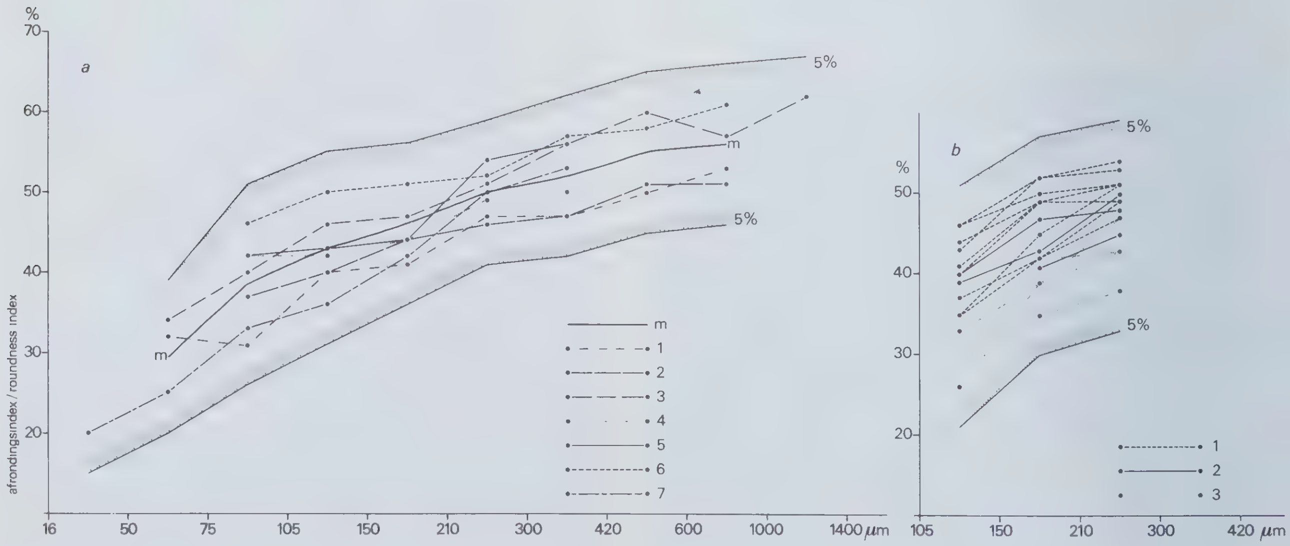
Bij de grafische weergave in driehoeksdiagrammen zijn de afrondingsklassen gegroepeerd in drie vormgroepen: α=H+ZZ+Z, β=N en γ=S+ZS+O(A). Deze indeling wijkt bewust af van de normaliter gebruikte indeling van α=H+ZZ, β=Z+N+S en γ=ZS+O(B), die overigens, teneinde vergelijking van de gegevens met eerdere, soortgelijke morfoskopische analyseresultaten mogelijk te maken, tevens in de betrokken figuren weergegeven is. Het dominant voorkomen van normaal afgeronde korrels en de geringe spreiding in afrondingsindices, waarbij ge-

ringe verschuivingen van het aantal normaal naar zwak, of normaal naar sterk afgeronde korrels het opvallendste kenmerk is, maakten een grafische weergave (A), zoals hier gekozen, noodzakelijk. De relatie welke bestaat tussen de afrondingsindices en de korrelgroottefrakties is weergegeven in morfogrammen, waarbij tevens de 5% nauwkeurigheidsmarge is aangegeven, die Kummer (1970) experimenteel heeft bepaald.
Bij een betrouwbaarheid van 95% zullen de werkelijke A.I.% liggen tussen de opgegeven A.I.% ± 5%. Aangezien een gelijke afrondingsindex van twee verschillende monsters op verschillende wijze tot stand kan komen, dienen bij onderlinge vergelijking tevens de vormgroepen-verdelingen in de driehoeksgrafieken en of de telstaten vergeleken te worden. Bijzonderheden, zoals het voorkomen van kwartskorrelaggregaten (komposieten), afgerond gebroken exemplaren met herkenbare kwartsaangroei, die bij deze morfoskopische analyse tevens geteld werden, zijn gezien het slechts sporadisch voorkomen, niet vermeld.

Aangezien binokulair-mikroskopisch onderzoek bij vergrotingen tot 200x niet toereikend is voor het gedetailleerd bestuderen van oppervlakte-eigenschappen van kwartskorrels en gezien de vaak tegenstrijdige gegevens over kenmerken, die indikatief zouden zijn voor eolisch transport, zijn met behulp van een scanning elektronen-mikroskoop (Stereoscan Mark II, Cambridge Instruments) een aantal opnamen gemaakt van stuifzandkwartskorrels. Hiertoe werden allereerst met de binokulair korrels geselekteerd van enkele korrelgroottefrakties en afrondingsklassen, waarbij tevens gelet werd op de mate van mattering en transparantie. Vooral de in stuifzanden dominerende fraktie 150-210 µm werd onderzocht; daarnaast werden korrels van de frakties 105-150 µm en 600-1000 µm vergeleken op oppervlaktetextuur. Vervolgens werd een aantal korreldoorsneden met de optische mikroskoop onderzocht op het voorkomen van insluitsels, aangroeiingen en de aard van de randen van de korreldoorsneden. Tenslotte werden preparaten vervaardigd van zeer zwak tot zeer sterk afgeronde, van nauwelijks tot sterk gematteerde, van transparante en niet-transparante kwartsen en melkkwartsen, voor onderzoek met de scanning elektronen-mikroskoop. De onderzochte monsters zijn afkomstig van aktieve stuifzanden, bemonsterd op een diepte variërend van 10 tot 30 cm - m.v. op de Midden-Veluwe.

7.4 Afronding van stuifzanden in vergelijking tot andere afzettingen

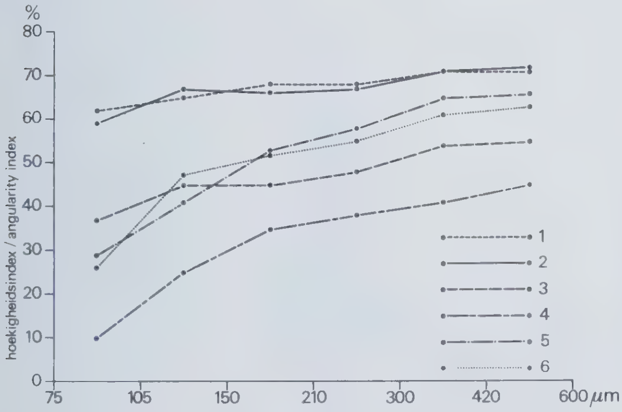
De mate van afronding van kwartskorrels is bepaald voor diverse frakties (variërend van 16-50 µm tot 1000-1400 µm) van stuifzandmonsters, dekzandmonsters en monsters bestaande uit fluvio-glaciaal of gestuwd preglaciaal materiaal (appendix 6). De monsters zijn zo veel mogelijk op uniforme wijze verzameld, teneinde eventueel optredende verschillen in afrondingsgraad onder invloed van bodemprofielontwikkeling of afzettingshoogte bij voorbaat uit te kunnen sluiten. De stuifzandmonsters zijn voornamelijk afkomstig van ca 1,5 m hoge heuvels, met uitzondering van monsters uit het Otterlose Bos; de dekzandmonsters zijn genomen van niet ter plaatse door bodemvorming beïnvloed moedermateriaal van onder of nabij stuifzanddekken voorkomende pakketten van Jonger Dekzand II.



Figuur 7.2
Morfogrammen van de mate van afronding van stuif- en dekzanden en andere afzettingen; 5% - experimentele nauwkeurigheidsmarge
Morphograms of the degree of roundness of drift and cover sands and other deposits: 5% - experimental error
a - 1-5 - stuifzanden/drift sands, monsternummers/sample numbers 69/51, 69/61, 69/8, 69/27, 69/68; 6, 7 - dekzanden/cover sands, monsternummers/sample numbers 67/18, 69/65; m - gemiddelde/mean
b - 1 - stuifzanden/drift sands, 2 - dekzanden/cover sands, 3 - fluvio- en preglaciale afzettingen/fluvio- and preglacial deposits

Allereerst is van een aantal stuifzand- en dekzandmonsters het verloop van de afrondingsindex over de diverse korrelgroottefrakties bepaald (figuur 7.2). In alle gevallen blijken deze eolische zanden gekenmerkt te worden door een geleidelijke toename van de afrondingsindex bij toename van de korrelgrootte. Opvallend is dat de mate van toename van de afrondingsindex niet lineair verloopt maar geringer wordt bij toename van de fraktiegrootte; met andere woorden de gemiddelde vormdistributiekurve heeft een zwak gebogen vorm. De verschillen tussen de afrondingsindices van overeenkomstige frakties kunnen oplopen tot ca 15 A.I.%. De afnemende toename van de afrondingsindex, die voorkomt bij het groter worden van de korrels, wordt door Kummer (1970) als volgt verklaard. Bij een theoretisch gelijkblijvende 'abrasie-energie' per tijdseenheid is progressief meer tijd nodig om een meer afgerond exemplaar in een eerstvolgende hogere afrondingsklasse te doen belanden dan een hoekig exemplaar. De overweging hierbij is, dat met dezelfde hoeveelheid beschikbare energie, bij meer afgeronde exemplaren meer materiaal verwijderd moet worden om tot een 'zichtbare' toename van de afronding te komen. Daar bij de stuifzanden de hoogste mate van afronding in de grofste korrelgroottefrakties voorkomt, kan men verwachten dat in de morfogrammen deze afnemende toename van de afronding zichtbaar wordt. Enkele onderzochte fluvio-glaciale en preglaciale afzettingen tonen een soortgelijke, maar iets snellere toename van de afrondingsindex met de korrelgroottetoename. De bereikte waarden van deze afrondingsindices liggen evenwel lager dan die voor de eolische afzettingen (figuur 7.2b).

Maarleveld (1970), die enige eolische en fluviatiele zandafzettingen vergeleken heeft op



Figuur 7.3
Morfogrammen van de mate van scherphoekigheid van enige afzettingen (naar gegevens van Maarleveld, 1970)
Morphograms of the degree of angularity of several deposits (compiled after data from Maarleveld, 1970)
1 - stuifzand/drift sand, 2 - Ouder dekzand/Older cover sand, 3 - Rijnafzetting/Rhine deposit, 4 - Maasafzetting/Meuse deposit, 5 - afzetting Midden-Duitse rivieren/fluvial deposit of eastern (German) origin, 6 - keileem/till

de mate van hoekigheid komt tot overeenkomstige konklusies. In navolging van Powers (1953) heeft hij voor een aantal korrelgroottefrakties de kwartskorrels ingedeeld in scherphoekige, hoekige, matig afgeronde en sterk afgeronde exemplaren. De kleinst voorkomende hoeken op de korrels waren bepalend voor de klassifikatie. Op grond van de in tabelvorm gepresenteerde hoekigheidsgegevens van Maarleveld (1970) zijn door toekenning van vermenigvuldigingsfaktoren op de hieronder aangegeven wijze de 'hoekigheidsindices' bepaald en weergegeven in morfogrammen (figuur 7.3):

onderscheiden vormklassen	vermenig-vuldigings-faktor	voorbeeld aantal korrels	produkt-getal
scherphoekig	0	1	-
hoekig	1	24	24
matig afgerond	2	62	124
sterk afgerond	3	13	39
			187

$$\text{hoekigheidsindex (H.I.\%)} = \frac{187}{300} \times 100\% = 62\%$$

Bij morfoskopisch onderzoek van windafzettingen echter heeft het bepalen van het aantal (scherp)hoekige korrels enkele bezwaren. Het aantal voorkomende exemplaren is gering en de kleine erin voorkomende verschillen liggen in de sfeer der toevalligheid. Indien geklassificeerd wordt op de kleinst voorkomende hoeken dan zullen exemplaren, waaraan naast afgeronde delen duidelijk breukvormige begrenzingen met scherpe kanten optreden, in de scherphoekige klasse ingedeeld worden. Volgens de methode Kummer (1970) worden deze, in windafzettingen slechts sporadisch voorkomende korrels ondergebracht in de rubriek der afgerond-gebroken exemplaren. De mate van hoekigheid wordt niet bepaald door het optreden van breuk tijdens botsingen tussen lichtere en zwaardere kwartskorrels. De energiën nodig om (niet sterk verweerde) kwartskorrels te doen splijten zijn vele malen hoger dan de door wind aan de kwartskorrels verleende energiën bij optredende botsingen (mond. med. E.A. Kummer, 1974). Het onderzoek van Kuenen (1960) en het oppervlaktetextuur-onderzoek van stuifzand-kwartskorrels (paragraaf 7.6) bevestigen dit.

Ondanks het hiervoor gestelde, vertonen de onderling overeenkomstige morfogrammen van stuifzand en Ouder Dekzand in figuur 7.3 een zelfde verloop als die van de onderzochte stuif- en dekzanden in figuur 7.2. De absolute waarden van de hoekigheids- en de afrondingsindices komen, gezien de verschillende klasse-indeling en gebruikte vermenigvuldigingsfaktoren, uiteraard niet overeen. De iets steiler verlopende kurves voor fluviatiele afzettingen (figuur 7.3),

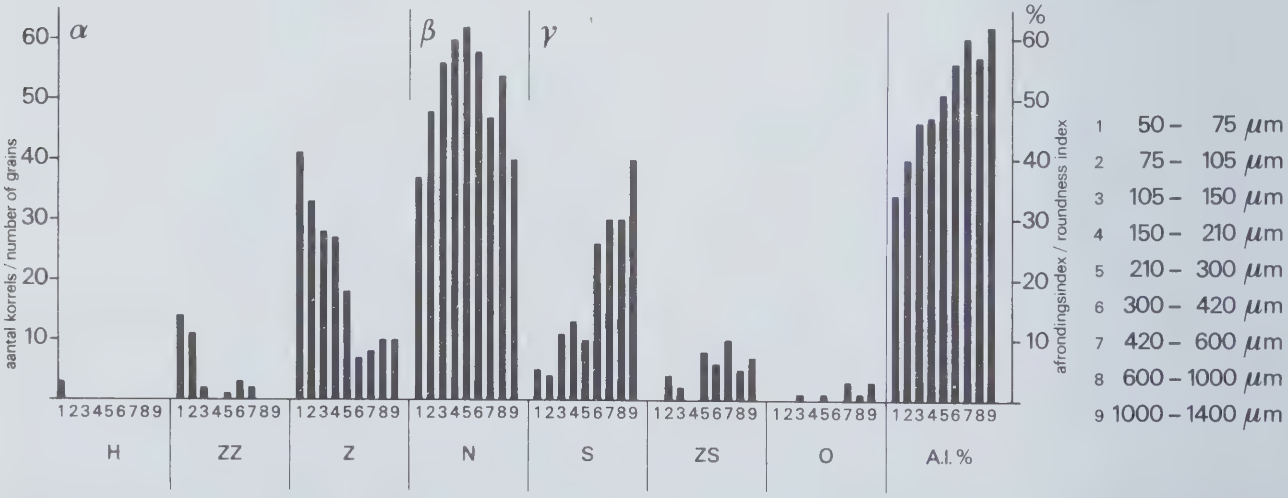
met in absolute zin veel lagere hoekigheidsindices, kunnen vergeleken worden met de berekende morfogrammen voor pre- en fluvio-glaciale afzettingen in figuur 7.2. In navolging van Maarleveld (1970) heeft Pyritz (1972) op gelijksoortige wijze de korrelafronding bepaald van stuifzanden, dekzanden en qua herkomst daarmee samenhangende fluviatiele en fluvio-glaciale afzettingen in Niedersachsen, die hierna als gemiddelde waarden samengevat worden voor de onderzochte fraktie 100-160 μm:

	stuif-zanden	laat-glaciale dekzanden	fluviatiel (fluvio-glaciaal) materiaal
scherphoekig	ca 1%	ca 1%	ca 19%
hoekig	ca 17%	ca 16%	ca 38%
matig afgerond	ca 61%	ca 64%	ca 29%
sterk afgerond	ca 21%	ca 19%	ca 14%
hoekigheidsindex	ca 67%	ca 67%	ca 46%

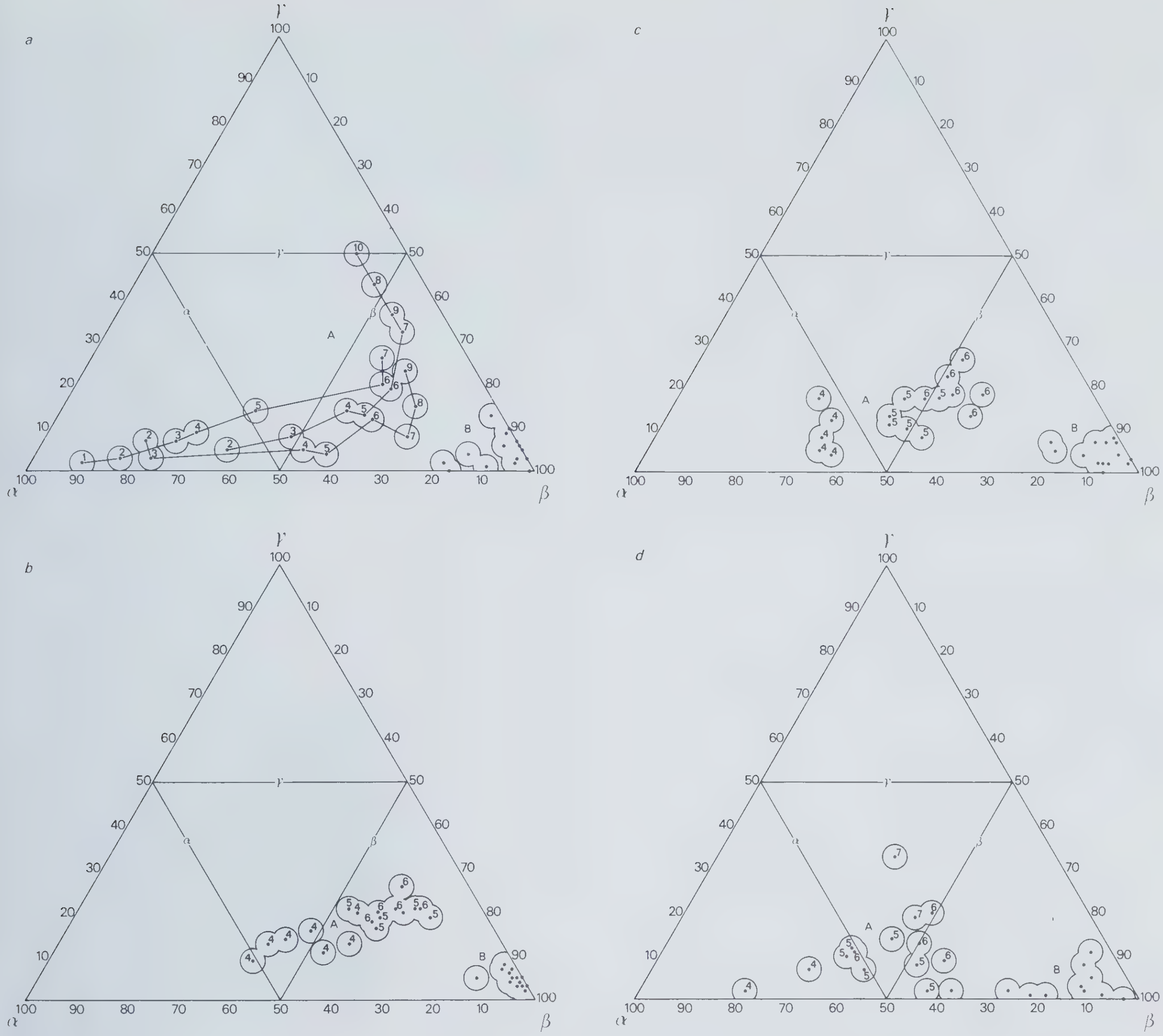
(vergelijk figuur 7.3)

Teneinde te kunnen illustreren door welke verschuivingen in de aantallen korrels, die in bepaalde afrondingsklassen ingedeeld zijn, de toename van de afrondingsindex bepaald wordt, is figuur 7.4 getekend. Hieruit blijkt allereerst dat het grootste deel van de korrels tot de klassen zwak, normaal of sterk afgerond gerekend wordt en dat verschuivingen tussen deze klassen onderling het verschil in afrondingsindex bepalen. In de fijnere en grovere frakties komt nog een aantal zeer zwak respektievelijk zeer sterk afgeronde exemplaren voor. Bij toename van de korrelgrootte neemt het aantal normaal afgeronde korrels eerst toe (tot de fraktie 210-300 μm) ten koste van het aantal zwak afgeronde korrels en vervolgens neemt het percentage sterk afgeronde korrels toe ten koste van het aantal normaal afgeronde korrels. Dit wijst erop dat stuifzand bestaat uit zeer homogeen eolisch materiaal, zonder bijmenging van materiaal met een andere afrondingsgeschiedenis en dat de mate van selektie naar vorm zeer hoog is. Gezien de sterke overeenkomst in vormdistributie met de overeenkomstige (onderliggende)dekzanden (figuur 7.2) kan gekonkludeerd worden, dat de vormselektie reeds zo hoog was, dat bij verstuiving geen of nauwelijks vormselektie meer mogelijk was en of dat het lokale transport bij verstuiving niet intensief en langdurig genoeg is geweest voor het plaatsvinden van verdere vormselektie.

De verdeling van de afrondingsvormgroepen (α=H+ZZ+Z afgerond, β=N afgerond, γ=S+ZS+O afgerond) over diverse frakties van stuifzanden, dekzanden en andere materialen is weergegeven in een viertal driehoeksgrafieken (figuur 7.5). De verdelingen van de diverse vormgroepen binnen de onderscheiden korrelgroottefrakties van stuif- en dekzanden laten in dit opzicht geringe verschillen tussen de op de Veluwe aanwezige stuifzandgebieden zien. De verschillen zijn echter te gering en het aantal faktoren, die de afrondingsgraad bepalen, is te groot om met behulp van dit beperkte aantal monsters van deze min of meer uniforme materialen signifikante onderscheidingen te kunnen maken. Bij wijze van voorbeeld zijn de verdelingen van de vormgroepen van stuifzanden van een drietal, in geografische ligging en hoogteligging geheel verschillende, stuifzandgebieden weergegeven. De verdeling van de vormgroepen van enige Noord-Veluwse fluvio-glaciale en gestuwde preglaciale af-



Figuur 7.4
Het verloop van de bepaalde afrondingsklassen (H, ZZ, Z, N, S, ZS, en O) en van de afrondingsindex (A.I.%) over de diverse korrelgroottefrakties (1 t/m 9) voor een stuifzandmonster (nr. 69/8); per fraktie zijn 100 korrels geteld; α, β en γ zijn de vormgroepen, voor verklaring zie tekst
The changes in the determined roundness classes (A, VW, W, M, S, VS and O) and in the roundness index (R.I.%) for several grainsize fractions (1-9) of a drift sand sample (number 69/8); in each fraction 100 grains have been counted; α, β and γ are the so-called 'form groups', for explanation see text



Figuur 7.5
Driehoeksgrafieken met de verdeling van de afrondingsvormgroepen van stuif- en dekzanden en andere afzettingen voor diverse korrelgroottefrakties; samenstelling vormgroepen bij A en B zie figuur 7.7
Triangular graphs representing the distribution of the roundness 'form groups' of drift and cover sands and other deposits for several grainsize fractions; for composition of form groups near A and B see figure 7.7

a - stuifzanden en dekzand/drift sands and cover sand, Otterlose Bos
b - stuifzanden/drift sands, Schalterberg
c - stuifzanden en dekzanden/drift sands and cover sands, De Zoom
d - fluvio-glaciale en preglaciale afzettingen/fluvio-glacial and preglacial deposits
frakties/fractions: 1 - 16-50µm, 2 - 50-75µm, 3 - 75-105µm, 4 - 105-150µm, 5 - 150-210µm, 6 - 210-300µm, 7 - 300-420µm, 8 - 420-600µm, 9 - 600-1000µm, 10 - 1000-1400µm

zettingen (figuur 7.5d) laat wel enig verschil met de eolische zanden zien.

Vanwege het eenduidige verloop van de afrondingsindices bij toename van de korrelgrootte bij alle monsters en vanwege het feit, dat de fraktie 150-210 µm normaliter het grootste gewichtspercentage inneemt in de stuif- en dekzandmonsters, werd voor verder vergelijkend onderzoek deze fraktie gebruikt. Van stuif- en dekzanden, afkomstig uit een aantal over de gehele Veluwe verspreide stuifzandgebieden, werd de afrondingsindex voor de fraktie 150-210 µm bepaald (appendix 7) voor het onderzoek naar eventuele regionale en of onderlinge verschillen.

De verschillen in afrondingsindex van de Veluwse stuif- en dekzanden zijn over het algemeen tamelijk gering. De afrondingsindex varieërt van 39 tot 54 A.I.% met een gemiddelde van 45%. De gegevens van de afrondingsanalyse van de fraktie 150-210 µm zijn samengevat in tabel 7.1, waarin de gemiddelde afrondingsindices en de gemiddelde verdelingen van de vormgroepen van de onderzochte materialen staan aangegeven. De waarden van de afrondingsindices, respektievelijk de verdeling van de vormgroepen staan weergegeven in de figuren 7.6 en 7.7.

Ondanks de geringe verschillen in A.I.% tussen de diverse monstergroepen, wees toetsing

gr.	n*	fraktie in µm fraction	afrondingsklassen roundness classes H	ZZ	Z	N	S	ZS	O*	-index A.I. in %
			vermenigvuldigingsfaktor multiplication factor							
			0	1	2	4	6	7	8	
1	17	150- 210	-	3	28	56	9	4	-	46
2	26		-	2	34	55	8	1	-	43
3	17		-	3	22	60	12	3	-	48
4	24		-	2	27	56	11	4	-	47
5	7		2	10	35	44	8	1	-	38
6	3		9	26	38	23	4	-	-	27
7		50- 75	3	14	41	37	5	-	-	34
		75- 105	-	11	33	48	4	4	-	40
		105- 150	-	2	28	56	11	2	1	46
		150- 210	-	-	27	60	13	-	-	47
		210- 300	-	1	18	62	10	8	1	51
		300- 420	-	3	7	58	26	6	-	56
		420- 600	-	2	8	47	30	10	3	60
		600-1000	-	-	10	54	30	5	1	57
		1000-1400	-	-	10	40	40	7	3	62

n* - gemiddelde waarden van n monsters
average values of n samples
*A VW W M S VS O R.I.

A- angular; VW - very weakly rounded; W - weakly rounded; M - medium rounded; S - strongly rounded; VS - very strongly rounded; O - Oviform (egg-shape) representing the highest possible degree of roundness; R.I. - Roundness Index

Tabel 7.1 De mate van afronding van Veluwse stuifzanden en dekzanden
indeling monstergroepen: 1 - Noord-Veluwse stuifzanden, 2 - Midden-Veluwse stuifzanden, 3 - Oost-Veluwse stuifzanden, 4 - Veluwse dekzanden; ter vergelijking worden de gemiddelde waarden van enkele Veluwse fluvio-glaciale en preglaciale afzettingen (5) en van enkele fluviatiele afzettingen (6) gegeven; 7 - stuifzand Otterlose Bos (nr. 69/8)

Table 7.1 The degree of roundness of drift sands and cover sands of the Veluwe
sample groups: 1 - drift sands of the northern Veluwe, 2 - drift sands of the central Veluwe, 3 - drift sands of the eastern Veluwe, 4 - cover sands of the Veluwe; for comparison the average values of several fluvio-glacial and preglacial deposits (5) and some fluvial deposits (6) are indicated; drift sand Otterlose Bos (nr. 69/8)

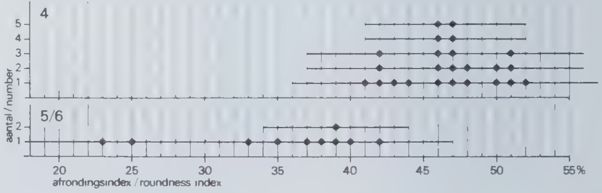
van de waarden van de groepen 1 tot en met 4 met behulp van de Kruskal-Wallis 'one-way analysis of variance' en vervolgens de Kolmogorov-Smirnov 'two-sample test' uit, dat de bepaalde A.I.% voor de Midden-Veluwse stuifzanden (2) signifikant lager zijn dan die voor de Oost-Veluwse stuifzanden (3). Hierbij mag echter niet vergeten worden, dat de vermelde A.I.% een betrouwbaarheid bezitten van ± 5%. Opvallend is tevens dat enkele nabij Voorthuizen en langs de stuwwallen van Ede en Oud-Reemst gelegen stuifzanden een gemiddeld hoger A.I.% bezitten dan de overige stuifzanden.

Van de stuifzanden in het Otterlose Bos is het A.I.% bepaald van een aantal, aan de basis van de loefzijde en van de top, van een 10-15 m hoge randwalduin afkomstige monsters, teneinde na te gaan in hoeverre op korte afstand door vormselektie verschillen optreden tussen laag en hoog gesedimenteerde stuifzanden. Op de loefzijde variëert de afrondingsindex van 40-47% met een gemiddelde van 43%; op de top van 43-49% met een gemiddelde van 44%. Ook in dit geval moet van een negatief resultaat gesproken worden; de voorkomende verschillen vallen binnen de mogelijke analysefout (appendix 7). Belangrijke vormselektie treedt kennelijk op deze korte afstand niet op.

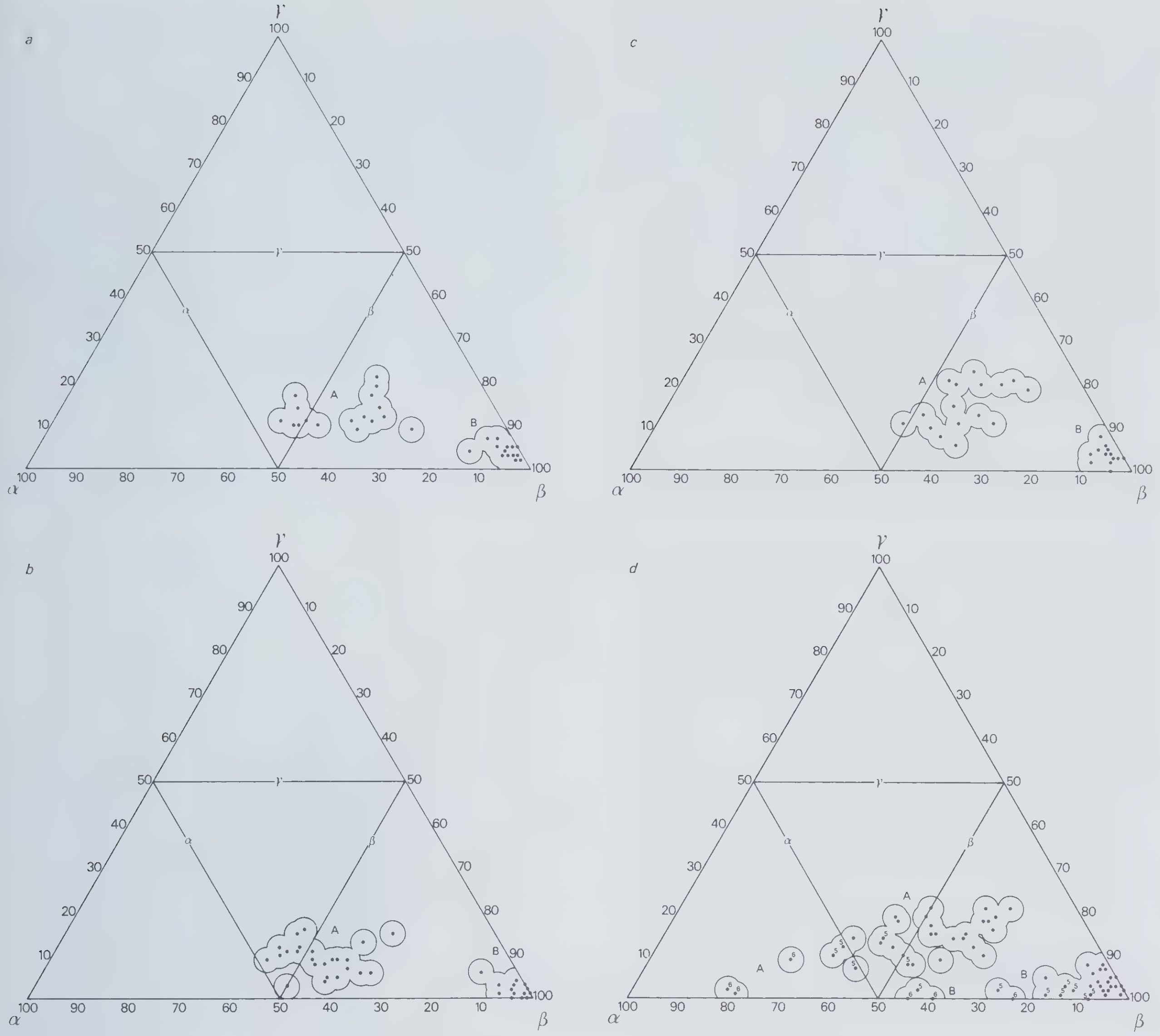
De onderzochte dekzandmonsters blijken wat het gemiddelde A.I.% en wat verdeling van de vormgroepen betreft geheel samen te vallen met de stuifzandmonsters. Afgezien van de besproken (geringe) verschillen laten de eolische zanden aldus geen onderlinge onderscheidingen toe, maar zijn wel duidelijk afwijkend van de enkele onderzochte niet-eolische afzettingen. Van aantoonbare komplementaire afrondingseigenschappen in stuif- en dekzanden is geen sprake. Aangezien de A.I.% van de stuifzanden in de diverse Veluwse stuifzandgebieden in geen enkele richting een toenemende of afnemende reeks vertonen, wordt verondersteld, dat de voorkomende geringe verschillen, behalve door de mate van nauwkeurigheid van de gebruikte methode, bepaald zijn voor verschillen in afrondingsgraad van de lokale herkomstmaterialen.

Summiere tellingen van de afrondingsgraad van met behulp van een magneetscheider afgezonderde zware mineralen frakties van Veluwse stuifzanden wijzen erop, dat dit materiaal een aanzienlijk hogere afrondingsgraad bezit dan de uit dezelfde monsters afkomstige kwartskorrels bij overeenkomstige fraktiegrootten.

Veenstra & Winkelmolen (1971) vonden op grond van een beperkt aantal monsters, dat van noord naar zuid gaande de dekzanden in Nederland over het algemeen een afnemende rolbaarheid bezitten, hetgeen tezamen met andere



Figuur 7.6
Afrondingsindices van Veluwse stuifzanden, dekzanden en andere afzettingen; indeling monstergroepen conform tabel 7.1 en appendix 7; de lengte van de horizontale lijnen geeft het trajekt binnen de 5% A.I. nauwkeurigheidsmarge aan
Roundness indices of drift sands, cover sands and other deposits in the Veluwe; 1-6 correspond with the sample groups in table 7.1 and appendix 7; with the length of the horizontal lines the experimental error of + or - 5 R.I.% is indicated



Figuur 7.7
Driehoeksgrafieken met de verdeling van de afrondingsvormgroepen van stuif- en dekzanden en andere afzettingen; fraktie 150-210μm
Triangular graphs representing the distribution of the roundness 'form groups' of drift and cover sands and other deposits; fraction 150-210μm
indeling monstergroepen conform tabel 7.1 en appendix 7/1-6
correspond with the sample groups in table 7.1 and appendix 7:
a - groep/group 1
b - groep/group 2
c - groep/group 3
d - groepen/groups 4, 5, 6
samenstelling van de vormgroepen/composition of the 'form groups':
nabij/near A: α = H+ZZ+Z afgerond/A+VW+W rounded, β = N afgerond/M rounded, γ S+ZS+O afgerond/S+VS+O rounded
nabij/near B: α = H+ZZ afgerond/A+VW rounded, β = Z+N+S afgerond/W+M+S rounded, γ ZS+O afgerond/VS+O rounded

indikaties zou wijzen op een noord-zuid gerichte transportweg van de Nederlandse dekzanden. Dit is overigens geheel niet in overeenstemming met de oriëntatiegegevens van dekzandvormen (vergelijk paragraaf 4.4) en wordt evenmin bevestigd door het hier besproken afrondingsonderzoek.

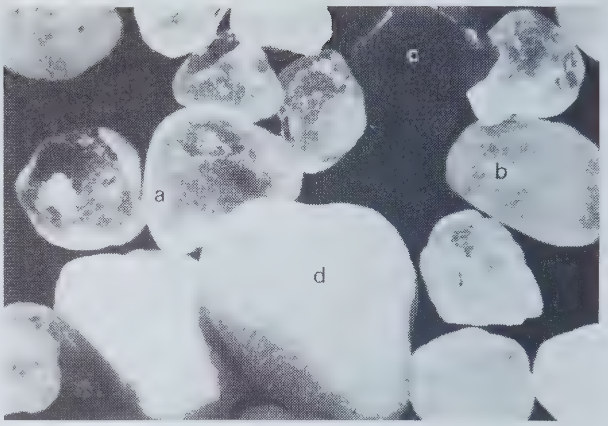
7.5 Oppervlaktetexturen bij zwakke vergroting

In navolging van Cailleux (1942) hebben velen kwartskorrels op grond van de aard van het oppervlak, zoals zichtbaar bij zwakke vergrotingen, ingedeeld in de volgende groepen: 'non-usés = not-worn, angular; émoussés-luisants = smoothened shiny, brilliant; ronds-mat = rounded-frosted; ronds-mat sales = dirty rounded-frosted'. Seppälä (1969, 1971) en Lindroos (1972) onderscheiden drie groepen in de kwartskorrels van landduinafzettingen: glanzend, semigematteerd en gematteerd. Wijmstra & Schreve-Brinkman (1971), die bij morfoskopisch onderzoek van sedimenten uit het Würmien een verdeling maakten in opake, semi-opake en transparante kwartskorrels menen, dat een korrelatie bestaat tussen enerzijds hoge percentages opake /semi-opake korrels en eolische sedimenten en hoge percentages transparante korrels en fluviatiele invloed anderzijds.

In diverse publikaties over oppervlaktetexturen van windafzettingen is echter geen rekening gehouden met het feit, dat de mate van transparantie naast samenstelling ook afhankelijk is van de mate van mattering. Het begrip 'transparantie' slaat op de gehele korrels en is een maat voor het vermogen van korrels licht door te laten, zodanig dat objekten die onder de korrels zijn gelegen, onveranderd worden waargenomen. Het begrip 'mattering' echter slaat op een oppervlakte-eigenschap van korrels, in die zin, dat sterk gematteerde korrels een, door mechanische of chemische invloeden, zodanig onregelmatig oppervlak hebben verkregen, dat gereflekteerd licht deze korrels een mat, dof uiterlijk geeft. Hierdoor kunnen transparante korrels een schijnbaar niet-transparant karakter krijgen. Het onderlinge verband tussen mate van afronding, transparantie en mattering is besproken voor Miocene zandafzettingen door Riezebos & Van der Waals (1972/73), die bij 10 maal vergroting een onderscheid maken in: glimmende, transparante korrels, die alleen op afgeronde hoeken en ribben enige mattering vertonen; overgangsvormen ('semi-frosted'); en geheel gematteerde korrels ('frosted'), die door de mattering hun transparantie volkomen verloren schijnen te hebben.

Een soortgelijke indeling kan gemaakt worden voor stuifzandkorrels. Met uitzondering van de geringe percentages niet-transparante, veelal sterk tot zeer sterk afgeronde melkkwartsen (in hoeveelheid variërend van 3-11%) waarop weinig van mattering te zien is, bestaat er een duidelijk verband tussen de mate van afronding en de mate van mattering, die op zijn beurt het al of niet transparante karakter van de korrels mede bepaalt. Vooral de zeer zwak en zwak afgeronde korrels zijn zwak gematteerd en hebben dientengevolge hun transparantie behouden. De normaal tot oviform afgeronde korrels vertonen overwegend een matige tot sterke mattering van het korreloppervlak.

Een indeling naar oppervlakte-eigenschappen van eolische zanden waarbij zowel de mate van transparantie als de mate van mattering door elkaar gebruikt worden, heeft gezien de onderlinge afhankelijkheid van deze faktoren, weinig betekenis. Een mogelijke indeling van de stuifzand-kwartskorrels op grond van met zwakke vergroting zichtbare onderling afhankelijke korrelkenmerken is de volgende:



Figuur 7.8
Stuifzand, fraktie 600-1000µm; transparante (a), matig transparante (b), 'vuile' (c) kwartskorrels en melkkwartskorrels (d)
Drift sand, fraction 600-1000µm; transparent (a), moderately transparent (b), 'dirty' (c) and milky quartz (d) grains

Figuur 7.8 toont voorbeelden van transparante en matig transparante stuifzand-kwartskorrels, die matig respektievelijk sterk gematteerd zijn. Door Kuenen & Perdok (1962) worden soortgelijke voorbeelden gegeven van sterk gematteerde eolische zanden. De Ploey (1961) vermeldt, dat in stuifzanden alleen de konvexiteiten van de korrels een mat aspekt vertonen, hetgeen naar hij aanneemt door botsingen tijdens windtransport is ontstaan. Walter (1950, 1951) meent op grond van veldonderzoek en laboratoriumexperimenten kleine ster- en schelpvormige afslagvlakken op stuifzand-kwartskorrels te kunnen herkennen, die veroorzaakt zouden zijn door temperatuurwisselingen en vorstsplintering. Vooral gekleurde, veel inschakelingen bevattende kwartskorrels zouden op deze wijze een gematteerd oppervlak kunnen verkrijgen. Mattering wordt door hem dan ook niet gerelateerd aan eolisch transport maar afhankelijk gesteld van de mate van chemische verwering en vorstverwering. Schneider (1970) stelt echter, dat de door Walter (1951) veronderstelde (vorst)verwering van kwartskorrels zeker niet ter verklaring kan dienen voor de mate van mattering van eolische zanden.

Onderzoek naar de invloed van bodemvorming op de oppervlaktetextuur van kwartskorrels is weinig verricht. Pachur (1966) vermeldt het voorkomen van opvallend diepe putjes in duinzand-kwartskorrels, afkomstig van profielen met een sterke podsolering. Over het voorkomen en de betekenis van eventuele 'pressure-solution

kleur	transparantie	mattering (overwegend)	afronding (overwegend)	globale samenstelling stuifzanden, fraktie 150-210µm
melkkwarts	niet	?	N, S, ZS	5 - 10%
kleurloze kwarts	matig tot sterk	niet	ZZ, Z, N	20 - 25%
kleurloze kwarts	matig	matig	Z, N, S	50 - 60%
kleurloze kwarts	niet	sterk	N, S, ZS	10 - 15%
vuile kwarts	niet	?	?	0 - 5%

pits' en haarwortelafdrukjes op oppervlakken van korrels, afkomstig van door bodemvorming beïnvloed materiaal bestaat echter geen overeenstemming. Bij door bodemvorming beïnvloed materiaal zullen ook de uitstekende delen van korrels behorende tot de fijne zandfrakties een zekere mate van afronding kunnen vertonen door oplossing van materiaal. Het onderliggende, niet door bodemvorming beïnvloede, materiaal vertoont deze oplossingsverschijnselen niet. Pachur (1966), die van mening is, dat chemische en mechanische aantasting van kwartskorrels in windafzettingen moeilijk te onderscheiden zijn, heeft evenals Kuenen & Perdok (1962) overigens experimenten uitgevoerd betreffende mattering van windafzettingen. In stuifzanden, die bestaan uit over zeer korte afstand getransporteerd, door sterke bodemvorming beïnvloed materiaal, kan hierdoor mogelijk een afwijkende oppervlaktetextuur optreden.

7.6 Oppervlaktetexturen bij sterke vergroting

Kuenen (1960), Kuenen & Perdok (1962) en Cailleux & Schneider (1968) vermelden, dat de mate van mattering van vooral kleurloze, sterk afgeronde kwartskorrels bij bestudering onder het binokulair (bij vergrotingen tot ca 200 maal) met opvallend licht, zichtbaar gemaakt wordt door soms het gehele korreloppervlak bedekkende cirkelvormige figuurtjes. Het voorkomen van deze 'cirkeltjes' in de orde van grootte van 1-10 µm is vooral zichtbaar op afgeronde en of 'oudere' korreloppervlaktedelen en wordt bepaald door de onregelmatigheid van het korreloppervlak. Deze cirkelvormige figuurtjes zijn door Cailleux (1942) oorspronkelijk beschreven als 'percussion cones'. Het betreft hier echter een optisch verschijnsel door reflektie van een onregelmatig oppervlak, dat op opnamen met de scanning elektronenmikroskoop dan ook niet teruggevonden wordt. De frequentie waarin dit verschijnsel per oppervlakte-eenheid voorkomt zegt alleen indirekt iets over de mate van onregelmatigheid (mattering?) van delen van het korreloppervlak. Werkelijke 'percussion cones' komen sporadisch voor op sterk afgeronde, grote kwartskorrels en bezitten een veel grotere diameter (Kuenen, 1960). Bij bestudering met geringe vergroting van de stuifzand-kwartskorrels zijn deze 'cirkeltjes' het meest opvallende oppervlakteverschijnsel; alleen zeer zwak of zwak afgeronde korrels en verse, meestal platte of concave vlakken van normaal of sterk afgeronde korrels vertonen dit verschijnsel niet of nauwelijks.

Samenvattend stellen Kuenen (1960) en Kuenen & Perdok (1962) dat mattering ('frosting') van kwartskorrels veroorzaakt kan worden door: a. voornamelijk chemische aantasting door corrosieve oplossing en afwisselend oplossen en afzetten van materiaal, b. in mindere mate door mechanische aantasting door wind en water. Het belangrijkste verschil tussen beide wijzen van aantasting is, dat chemische aantasting op het gehele korreloppervlak aangrijpt, ook op concave en andere instekende delen, terwijl mechanische aantasting speciaal op uitstekende korrelhoeken en -ribben aangrijpt. Een ander verschil is, dat mechanische abrasie op uitstekende korreldelen een gemiddeld grovere oppervlaktetextuur veroorzaakt dan chemische aantasting. Polijsting van korreloppervlakken wordt door Kuenen (1960) voornamelijk toegeschreven aan chemische invloed. Margolis & Krinsley (1971) schrijven mattering van kwartskorrels eveneens toe aan zowel chemische als mechanische beïnvloeding. Zij veronderstellen, dat door de invloed van dauw minieme hoeveelheden silicium in oplossing kunnen gaan, die op het korreloppervlak als een amorf laagje kunnen neerslaan. Hetgeen resulteert in een afronding van korrelhoeken en een maskering van het onregelmatige, door mechanische werking ontstane patroon van indrukken. Krinsley & Donahue (1968a, b), Krinsley & Cavallero (1970) en Margolis & Krinsley (1971) bespreken op basis van opnamen met de scanning elektronenmikroskoop de volgende karakteristieke oppervlaktetexturen voor een eolisch afzettingsmilieu:

a. Meest kenmerkend zijn 'rounded grains' en 'series of smooth, upturned plates (oriented fractures) interrupted by depressions', die een parallel patroon vertonen en gebonden zijn aan specifieke kristallografische richtingen. De grootte van deze 'regular upturned plates' is misschien gerelateerd aan de windsnelheid en de grootte van de 'inslaande' korrels.
b. 'Meandering ridges', die het gevolg zijn van korrelbotsingen tijdens windtransport, waarbij een golvend patroon kan ontstaan door intersektie van zwak gebogen conchoïdale breukpatronen; deze conchoïdale breukvlakjes zijn kleiner (< 15 µm) en regelmatiger van patroon dan degene, die voorkomen op typisch glaciaal bewerkte korrels.
c. 'Graded arcs', die waarschijnlijk inslagbreukvlakjes vertegenwoordigen en beschouwd worden als een variëteit van de conchoïdale breukpatronen; ze bestaan uit concentrische series van boogvormige botsfiguurtjes, die een waaiervormig patroon en een gradatie in grootte vertonen. Soutendam (1967) spreekt in dit verband van 'regular and crude polygonal marks'. Aangenomen wordt dat 'meandering ridges' en 'graded arcs' gevormd worden tijdens sterke abrasiekondities.

d. 'Flat regular pitted surfaces' ten gevolge van chemische en of mechanische beïnvloeding, die beschouwd worden als kenmerkend voor zwakke abrasiekondities.

Georiënteerde V-vormige etspatronen, in grootte variërend van ca 50 µm tot < 0,1 µm, worden meestal toegeschreven aan chemische invloed, waarbij de oriëntatierichtingen waarschijnlijk kristallografisch bepaald worden. Krinsley & Donahue (1968b) en Le Ribault (1975) vermelden echter tevens V-vormige etspatronen op uitstekende of vlakke korreldelen met (meerdere) oriëntatierichtingen, die zij toeschrijven aan mechanische werking in snelstromend water, repektievelijk mechanische werking op korrels, die met hun langste as parallel aan de dominerende windrichting georiënteerd zijn.

In het algemeen geldt, dat de veel voorkomende oplossingsverschijnselen de al of niet aanwezige kenmerken van mechanische aantasting maskeren. Oplossing en redepositie van kiezelzuur komt veel voor; de mate hiervan neemt snel toe bij afname van de korrelgrootte. De hier besproken texturen zijn echter zeker niet exklusief voor door de wind bewerkt materiaal. Deze texturen komen in alle afzettingsmilieus voor, zij het wisselend van aard en intensiteit.

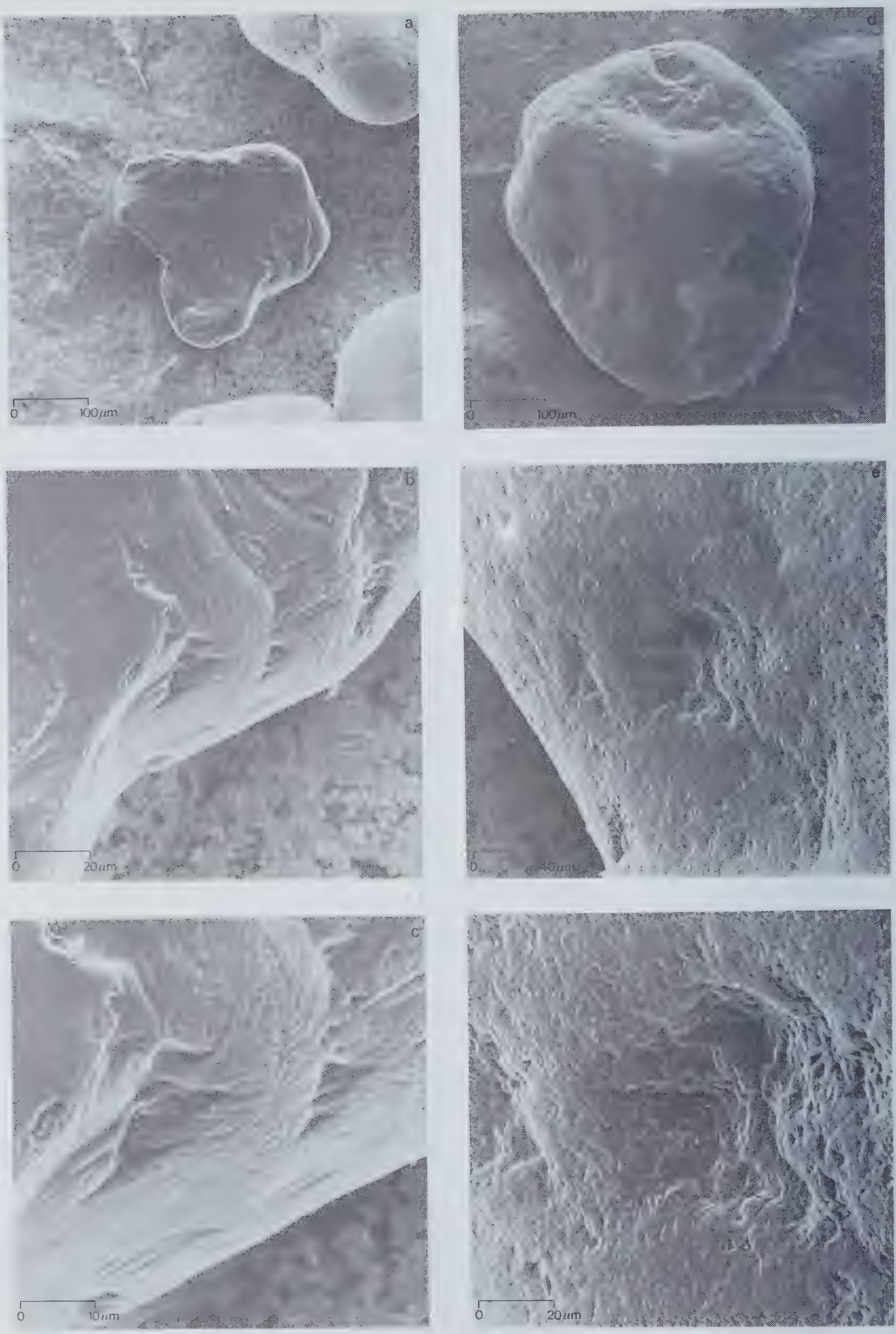
De vorm, afronding en oppervlaktetexturen van stuifzand-kwartskorrels, worden in tabel 7.2 beschreven en in de figuren 7.9, 7.10 en 7.11 geïllustreerd met als referentie de afbeeldingen en beschrijvingen van soortgelijke verschijnselen in Krinsley & Doornkamp (1973) en Le Ribault (1975). De aard van het oppervlak en

monster-nummer en lokatie sample number and location	korrelgrootte-fraktie in µm grainsize fraction	Binoculair transparantie/mattering transparency/frosting	afrondingsklasse roundness class	figuurnummer figure number	vergroting enlargement	SEM-micrographs eigenschappen vorm, afronding en oppervlaktetextuur (terminologie volgens Krinsley & Doornkamp, 1973) properties form, roundness and surface texture (terminology after Krinsley & Doornkamp, 1973)	ter vergelijking fotonummers for comparison photograph numbers Krinsley & Doornkamp, 1973, Le Ribault, '75
69/51/1a, Franse Berg	600-1000	matig transparant matig gematteerd moderately transparent moderately frosted	ZS/VS	7. 9.a	100x	"rounded grain, irregular solution and precipitation surface, upturned plates"	70/8,11,12,382
69/51/4d	150- 210	matig transparant matig gematteerd moderately transparent moderately frosted	N/M	7. 9.b	500x	"elongate grain, rounded corners, upturned plates, parallel surface etching (grooves in the order of 1 µm), irregular solution and precipitation surface"	20,69/382
69/ 8/2a, Otterlose Bos	105- 150	transparant transparent	ZS/VS	7. 9.c	500x	"oval grain, regular solution surface (conforming with crystallographic structure), deep surface etching, solution crevasses (5-10 µm long)"	19,97/174,175,382
69/51/6d	150- 210	matig transparant matig gematteerd moderately transparent moderately frosted	ZS/VS	7. 9.d	500x	"rounded grain, irregular solution and precipitation surface, irregular shallow depressions"	68,110/8,11,12
69/ 8/2c	105- 150	transparant transparent	ZZ/VW	7. 9.e	500x	"irregular grain (perhaps originally glacial with rounded corners), conchoidal breakage patterns, smooth concave and flat faces with some V-shaped solution pits, edges and corners abraded, large fractures due to crushing and small fractures (5-10 µm) due to wind abrasion (chipping)"	65,107/353
69/ 8/2b	105- 150	transparant transparent	Z/W	7. 9.f	500x	"irregular grain, chemical smoothing on concave faces, large conchoidal (dished) breakage surfaces, edges rounded by abrasion"	86,107/353
69/51/4c	150- 210	transparant transparent	Z/W	7.10.a 7.10.b 7.10.c	200x 1000x 2000x	"irregular grain, rounded corners, conchoidal breakage patterns, extremely flat cleavage faces, oriented V-shaped etch patterns (5-10 µm) due to solution"	65,100/38
69/ 8/1a	420- 600	matig transparant matig gematteerd moderately transparent moderately frosted	S	7.10.d 7.10.e 7.10.f	200x 500x 1000x	"rounded grain, with several irregular depressions, irregular solution and precipitation surface, upturned plates, large irregular depression (± 50 µm) probably due to powerful mechanical chipping, afterwards deformed by solution"	24,68,71
69/51/3b	150- 210	transparant transparent	Z/W	7.11.a 7.11.b 7.11.c	500x 1000x 2000x	"irregular grain, rounded corners, solution and precipitation surface, conchoidal breakage patterns, extremely flat cleavage faces, the edges are probably abraded and the smaller fractures (10-15 µm) are the result of chipping"	86,108,122/163
69/51/2f 69/51/2a 69/51/2e	150- 210	melkkwarts/ "gesuikerd" oppervlak milkquartz/ "sugary" surface	N/M S S	7.11.d 7.11.e 7.11.f	500x 1000x 5000x	"rounded grains, mechanically broken upturned plates (by wind action), extremely irregular surfaces covering almost entire grains, solution and precipitation surfaces present, probably quartz crystal growth in depressions, flat crystal flakes scattered over surface"	28,36,70,83,84/90,408,409

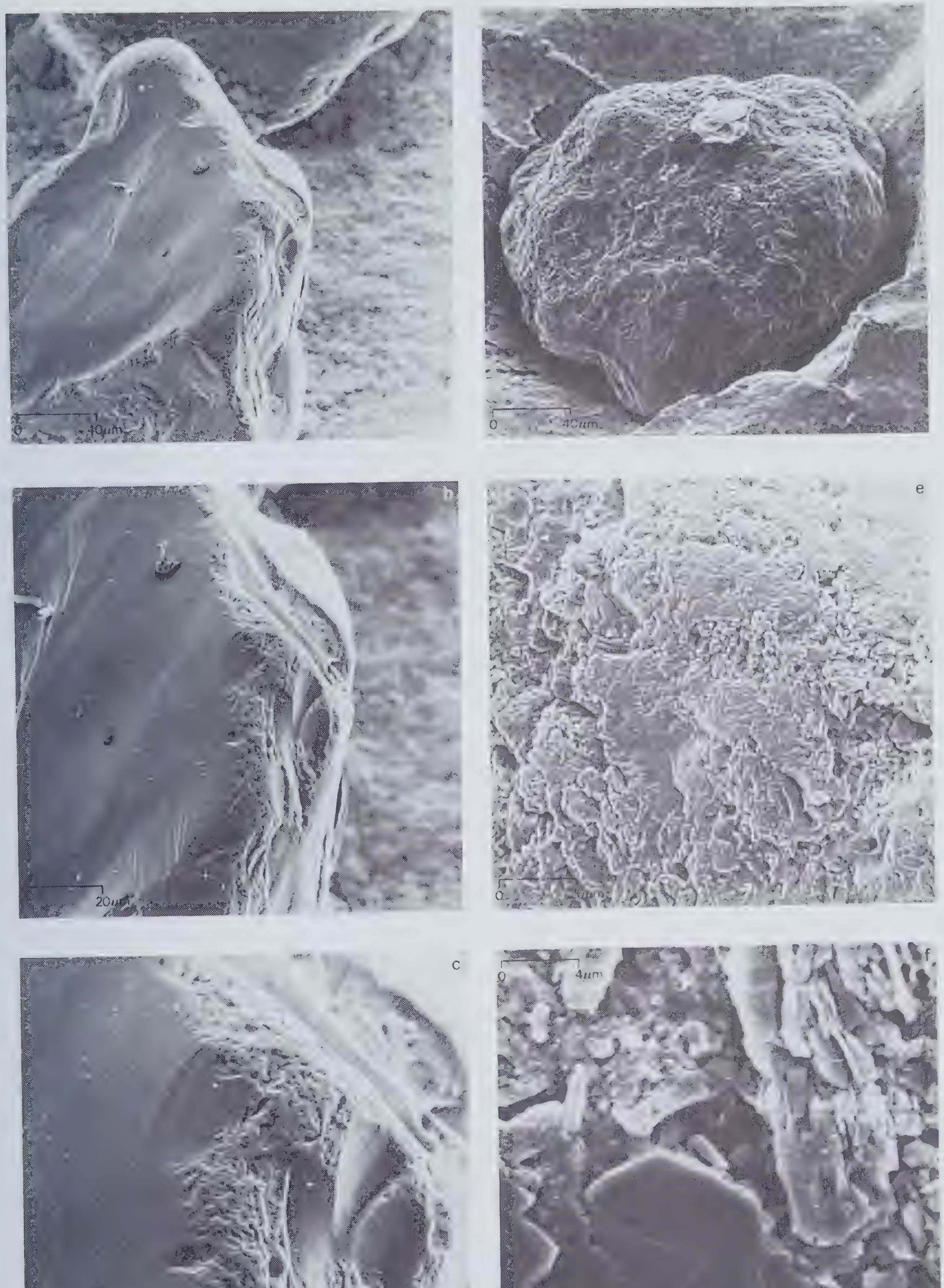
Tabel 7.2 Vorm-, afrondings- en oppervlakte-eigenschappen van stuifzand-kwartskorrels

Table 7.2 Properties of form, roundness and surface textures of drift sand quartz grains

Figuur 7.9
SEM-micrographs, beschrijving in tabel 7.2/explanation in table 7.2



Figuur 7.10
SEM-micrographs, beschrijving in tabel 7.2/explanation in table 7.2



Figuur 7.11
SEM-micrographs, beschrijving in tabel 7.2/explanation in table 7.2

de mate van afronding van de korrels, zoals waargenomen met de binokulair mikroskoop, worden ter vergelijking tevens vermeld in tabel 7.2. Van alle geselekteerde kwartskorrels zijn SEM opnamen gemaakt met vergrotingen variërend van 50 - 10.000 maal.

Samenvattend kan gesteld worden, dat de stuifzand-kwartskorrels zowel qua vorm, afronding als oppervlaktetextuur zonder uitzondering kenmerken van eolische bewerking vertonen. De zeer zwak en zwak afgeronde korrels bezitten een overgeërfde vorm, die aan niet-eolische bewerking toegeschreven wordt. Deze korrels vertonen een zekere mate van afronding van de uitstekende korreldelen, zowel door abrasie als door chemische werking. De platte of concave vlakken van deze korrels zijn veel minder aangetast. Aangezien de overgang van de niet of weinig aangetaste delen naar de sterker aangetaste, uitstekende korreldelen meestal geleidelijk verloopt en zelden scherp begrensd is, wordt verondersteld, dat de aantasting van de korrelribben en -hoeken jonger is dan de vorming van de min of meer gladde, platte of concave vlakken. Dit betekent, dat gladde delen van korreloppervlakken niet behoeven te wijzen op versheid. Het lijkt aannemelijk dat de mechanische en chemische aantasting van de korrelribben en -hoeken heeft plaatsgevonden tijdens de laatste eolische sedimentatiefase(n) van het materiaal. Le Ribault (1974) stelt als algemeen geldende regel, dat de aard van de sterk uitstekende korreldelen overwegend indikatief is voor het laatste ontwikkelingsstadium van de korrels, terwijl de aard van de vlakke delen en de instekende delen (depressies) overwegend indikatief zijn voor vroegere respektievelijk de oudste ontwikkelingsstadia van de korrels. Slechts sporadisch zijn afslagverschijnselen op de korrels waargenomen, die kunnen wijzen op tijdens eolisch transport ontstane splinters, die in de silt- of loessfraktie thuishoren. De mate van mattering van de normaal, sterk of zeer sterk afgeronde, kleurloze korrels is afhankelijk van de onregelmatigheid van het oppervlak, zoals veroorzaakt wordt door oplossing en precipitatie van materiaal. Hoe sterker de zwarting is op de 'micrographs', des te groter is de mate van transparantie. De sterkere transparantie van de zeer zwak en zwak afgeronde korrels is het gevolg van de relatief gladde, weinig aangetaste korreloppervlakken. Alle melkkwartsen bezitten ten opzichte van de kleurloze kwartsen een geheel afwijkende oppervlaktetextuur. Het oppervlak is zowel bij lage als bij hoge (tot > 10.000 maal) vergrotingen extreem onregelmatig dankzij mechanische en intensieve chemische aantasting. Ook in dunne doorsneden van melkkwartskorrels is het zeer onregelmatige oppervlak opvallend. In hoeverre deze afwijkende oppervlaktetextuur, mede waardoor deze kwartsen als melkwit worden waargenomen, resultaat is van intensiteit (ouderdom) van oppervlakteaantasting of beïnvloed is door afwijkende samenstelling en of kristalstruktuur is niet duidelijk. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of bij toename van de transportweg en of bij toename van de ouderdom een geringer percentage melkkwartsen wordt gevonden in qua samenstelling en herkomst overigens min of meer gelijksoortige windafzettingen.

8 VERLOOP VAN DE INDRINGINGSWEERSTAND IN STUIF- EN DEKZANDPROFIELEN

8.1 Inleiding

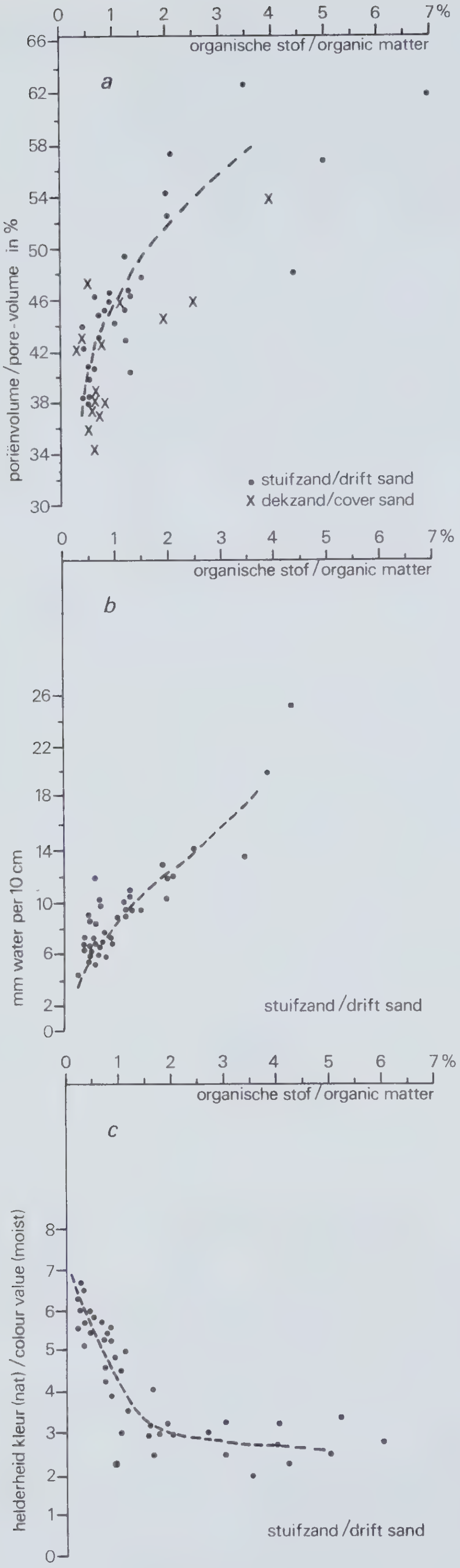
Het onderscheid tussen stuifzanden en qua textuur en struktuur hiermee vergelijkbare dekzanden is bij gebrek aan bodemprofielontwikkeling of andere kenmerkende horizonten in het veld soms moeilijk te maken. Met name is dit het geval daar waar stuifzand voorkomt op dekzand als het hierin ontwikkelde bodemprofiel door uitstuiving is verdwenen. Eén van de veldkriteria, die dan ter onderscheiding gebruikt kan worden, is de pakking (korrelstapeling) van het materiaal. Het is een bekend feit dat stuifzanden een losse pakking bezitten, in tegenstelling tot bijvoorbeeld dekzand in uitgestoven laagten, waar het zand dicht gepakt is. Teneinde het onderscheid in pakking tussen stuif- en dekzandmateriaal kwantitatief te kunnen benaderen is de indringingsweerstand tot 1,20 m diepte in een aantal 'bekende' stuifzand- en dekzandprofielen gemeten met behulp van een penetrometer. Uitvoerige informatie over penetrometeronderzoek staat in Davidson (1965) en Sanglerat (1972).

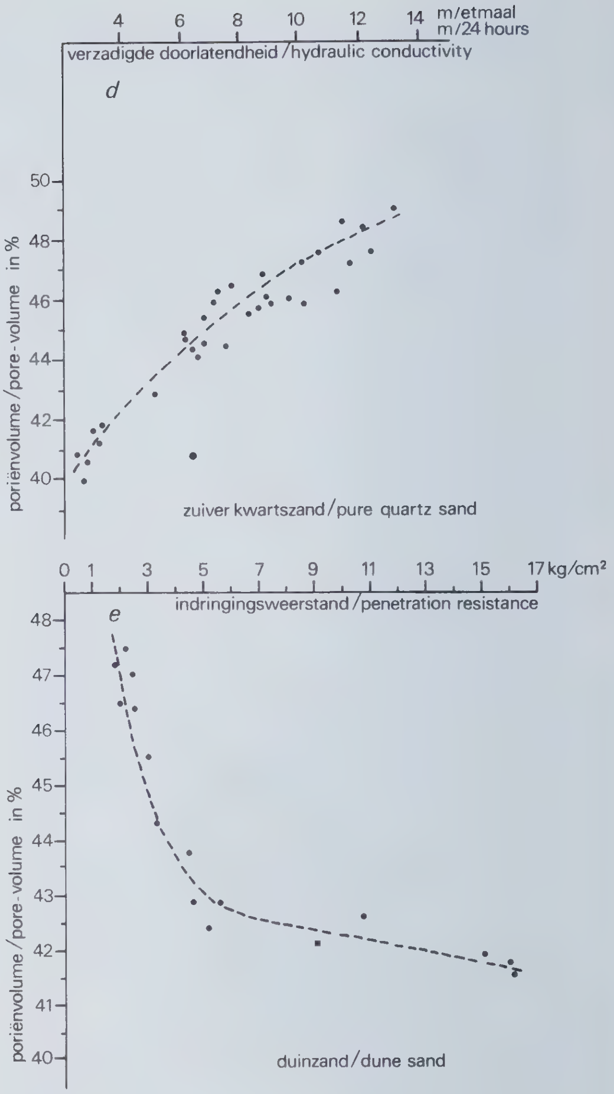
8.2 Indringingsweerstand in zandgronden

De indringingsweerstand in de grond wordt bepaald door een aantal onderling afhankelijke faktoren. De belangrijkste hiervan zijn: textuureigenschappen zoals korrelgrootteverdeling en korrelvormverdeling; struktuureigenschappen zoals gelaagdheid, voorkomen van verdichte horizonten, poriënvolume en poriënverdeling; bodemprofielontwikkeling, organische stofgehalte en vochtgehalte. Verondersteld wordt dat verschillen in indringingsweerstand als reflektie van verschillen in korrelstapeling tussen qua samenstelling en verdere textuureigenschappen, humusgehalte en vochtgehalte min of meer gelijke stuif- en dekzanden, veroorzaakt zijn door verschillen in afzettingskondities, bodemprofielontwikkeling en daarmee samenhangende ouderdom van het materiaal. Er is geen onderzoek verricht naar de invloed van ieder van deze faktoren op de indringingsweerstand. In het kort wordt slechts aangeduid welke invloed verwacht kan worden van een aantal faktoren en in welke richting de onderlinge afhankelijkheid van enkele faktoren verloopt.

Bij de meeste, goed gesorteerde zandgronden bestaat 30-50% van het volume uit poriën. In recent afgezette sedimenten is de totale porositeit (alle poriën) ongeveer gelijk aan de effektieve porositeit (alle met elkaar in verbinding staande poriën). Bij een toename van het gehalte organische stof stijgt in het algemeen het poriënvolume en daalt het volumegewicht dus (Haans & Van der Sluys, 1970). Ondanks dat de meeste, niet door bodemvorming beïnvloede stuifzandafzettingen en de dekzandafzettingen bestaan uit uiterst tot zeer humusarm zand, zullen de geringe verschillen in humusgehalte toch van invloed zijn op het poriënvolume (figuur 8.1a). De meestal goed gesorteerde, leemarme stuif- en dekzanden met min of meer gelijke korrelgrootteverdeling hebben overwegend grove poriën. Bij afname van de sorteringsgraad neemt de porositeit af. De vorm van de deeltjes is hierop tevens van invloed. Over het algemeen geldt, dat hoe meer de korrels van de bolvorm afwijken, des te groter de porositeit wordt (Von Engelhardt, 1960). Afhankelijk van de afzettingsomstandigheden kan echter door sterk hoekig zand zowel een los gepakt bodemskelet (grote haakweerstand) als een uiterst verdicht skelet opgebouwd worden. Bij de dichtst mogelijke korrelstapeling raakt iedere korrel 12 andere korrels. De kleinst mogelijke porositeit ligt niet bij de slechtst gesorteerde zanden, maar bij zanden met een tweetoppige verdeling van bepaalde fraktiegrootten (Von Engelhardt, 1960). Gelijkvormige verdelingen zullen steeds lagere porositeitswaarden bereiken, des te groter het korrelgroottebereik is. Stuifzanden, die een korrelgrootteverdeling bezitten met een steile smalle top, zullen dus een relatief hoge porositeit bezitten. De verdelingen van de korrelgrootte en korrelvorm zijn de belangrijkste bepalende faktoren voor de porositeit. Voor materiaal bestaande uit uniforme bolvormige korrels bedraagt het holtepercentage (porositeit = volume grond – gewicht korrels: S. gew. korrels) bij losse stapeling 47,5% en bij dichte stapeling 26%. Natuurlijke zanden bezitten overwegend holtepercentages van 35-45%.

De pedogene verdichting van zanden wordt voornamelijk bepaald door verplaatsing van bodembestanddelen onder invloed van infiltrerend water. De aard en plaats van deze verdichting is uiteraard afhankelijk van de mate van bodemprofielontwikkeling. Snelle infiltratie van water alleen – zonder verplaatsing van materiaal – kan ook verdichting tengevolge hebben. Dit is het geval bij onbegroeide zandige windafzettingen wanneer bij snelle verzadiging door het optreden van luchtexplosie ('air-slaking') een verdichting optreedt. Snel binnendringend water doet de druk van de poriënlucht oplopen, totdat op een zeker moment de 'struktuurelementen' uiteenklappen. Bodemverdichting betekent een afname van het totale poriënvolume, waarbij het aandeel van de kleinere poriën relatief sterk toeneemt ten koste van de grotere. In onbegroeide terreinen als aktieve stuifzanden kan een losse korrelstapeling echter zeer lang gehandhaafd blijven.



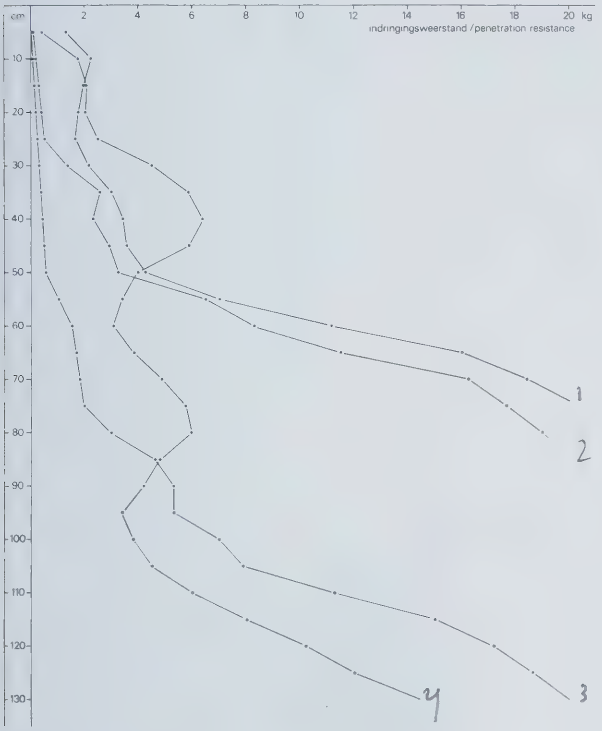


Figuur 8.1
Enkele onderling afhankelijke faktoren, die van invloed zijn op het verloop van de indringingsweerstand in eolische afzettingen
Some mutually dependant factors, which influence the penetration resistance in eolian deposits
a, b, c - naar/after Schelling (1955)
d, e - naar/after De Haan (1970)

De Haan (1970) geeft het verband aan tussen de indringingsweerstand en de waarde van het poriënvolume in duinzandgronden (figuur 8.1 e). Hieruit blijkt dat de indringingsweerstand geleidelijk oploopt van ca 2 kg/cm^2 bij 47% poriën tot 5 kg/cm^2 bij 43% poriën om daarna zeer snel op te lopen tot > 15 kg/cm^2 bij iets lagere poriënvolumen. Een andere faktor, die van invloed is op de indringingsweerstand, is het vochtgehalte van de grond. Volgens Van Dam & Hulshof (1967) heeft in de door hen onderzochte zandgronden het vochtgehalte echter weinig invloed op de indringingsweerstand. Bij draagkrachtonderzoek door Van den Akker & Zegers (1968) werd bij afname van het vochtgehalte een verhoging van de indringingsweerstand in de bovengrond gevonden. Een toename van de indringingsweerstand in de bovengrond van ca 1,5 tot > 15 kg/cm^2 komt overeen met een daling van het poriënvolume van ca 6-10% en dientengevolge met een belangrijke verkleining van de doorlatendheid (De Haan, 1970; figuur 8.1 d). Schelling (1955) toonde aan, dat het vochtgehalte in stuifzanden (gemeten in

mm water per laag van 10 cm) vrijwel uitsluitend afhankelijk is van het organische stofgehalte. Dit wordt geïllustreerd in figuur 8.1 b.

Door Van Dam & Hulshof (1967) zijn op een viertal proefplekken weerstandsprofielen bepaald (figuur 8.2). De vlakvaaggrond (1) be-



Figuur 8.2
Indringingsweerstand van vier proefplekken; de kurven zijn de gemiddelden van waarnemingen op vijf plaatsen (naar Van Dam & Hulshof, 1967)
Penetration resistance in four field experiments; every curve represents the mean penetration profile of five profiles, measured at a given locality only short distances apart (after Van Dam & Hulshof, 1967)
1 - vlakvaaggrond/'Vlak' hydrovague soil, 2 - veldpodsolgrond/ 'Veld' hydropodzol soil, 3 - bruine enkeerdgrond/Brown 'enk' earth soil, 4 - vorstvaaggrond/'Vorst' xerovague soil

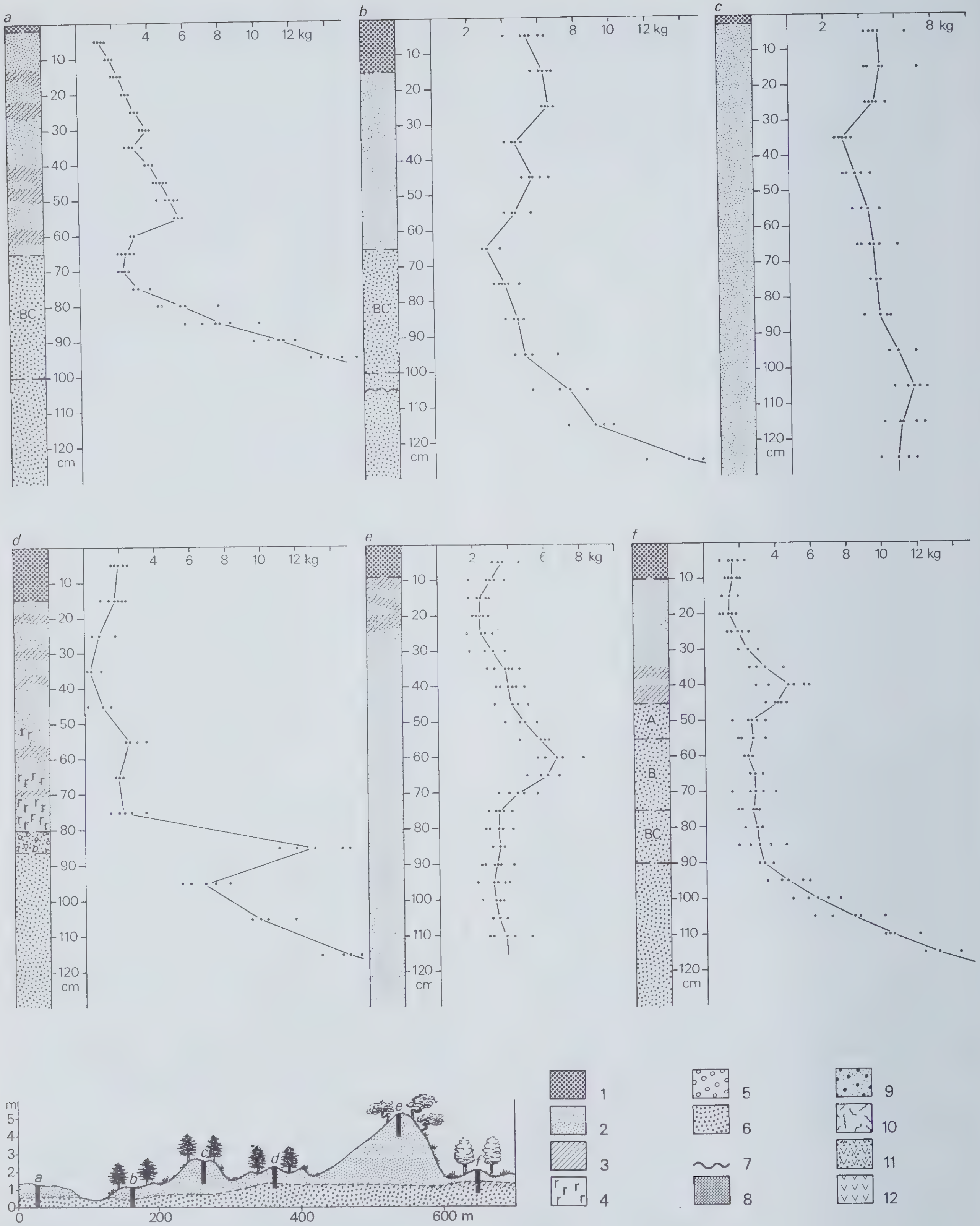
treft een uiterst humusarme dekzandgrond in een uitgestoven laagte; de veldpodsolgrond (2) is een lage humuspodsol in dekzand met een humeus dek van ca 30 cm dikte; de bruine enkeerdgrond (3) bezit een lemig oud bouwlanddek van ca 60 cm dikte op een begraven podsolprofiel; terwijl de vorstvaaggrond (4) een zwak lemige stuifzandgrond met afwisselend vaste en minder vaste lagen betreft. Pape (1970) heeft gemiddelde weerstandsprofielen bepaald van zwarte enkeerdgronden en humuspodsolgronden. Volgens hem heeft de Aan-horizont van de enkeerdgrond een slechts weinig met de diepte toenemende indringingsweerstand, samenhangend met een tamelijk konstant hoog poriënvolume van ca 50% en een uniforme poriënverdeling. Pas in het onderliggende niet door bodemvorming beïnvloede materiaal neemt het poriënvolume soms af tot ca 40%. In de humuspodsolgrond daarentegen neemt reeds vanaf ca 15 cm diepte de indringingsweerstand snel toe met de diepte.

8.3 Weerstandsprofielen in stuif- en dekzanden

In een aantal Midden- en Noord-Veluwse stuifzandgebieden zijn weerstandsprofielen tot een diepte van 1,20 m gemeten in stuifzanden, in dunne stuifzanddekken op al of niet uitgestoven dekzand of op andere materialen, in dekzanden met of zonder bouwlanddek en in dekzanden op venig materiaal. De waarnemingspunten zijn zodanig gekozen, dat ze representatief geacht kunnen worden voor een bepaalde afzetting in een bepaald gebied. Teneinde een indruk te krijgen van de spreiding van de penetrometerwaarden in de weerstandsprofielen zijn op ieder waarnemingspunt steeds vijf weerstandsprofielen gemeten. De vijf opnameplaatsen zijn slechts enkele decimeters van elkaar gelegen om te voorkomen dat verschillen in profielopbouw gaan optreden. Voor ieder waarnemingspunt zijn de vijf weerstandsprofielen weergegeven als één gemiddeld weerstandsprofiel.

De gebruikte penetrometer is een handsondeerapparaat (H.S.A.-5, Goudsche Machinefabriek). Een stang, met aan het ondereind een sondeerkonus, wordt in de grond gedrukt. Van Dam & Hulshof (1967) geven een beschrijving en meetresultaten van dit apparaat. De weerstand, die de kegel met een grondvlak van 1 cm^2 en een tophoek van 60° bij het binnendringen van de grond ondervindt, wordt de konusweerstand genoemd. De konusweerstand wordt door middel van een oliedrukmechanisme overgebracht op een manometer. Het in de grond drukken van de konus gebeurt door kracht op de handgrepen over te brengen tot de konus begint te zakken, waarbij de oliedruk oploopt tot de zakking begint, waarna de snelheid, waarmee de konus in de grond wordt gedrukt, min of meer konstant moet worden gehouden. Tijdens het zakken van de konus wordt de hoogste waarde op de manometer afgelezen. Dit wordt met intervallen van 5 of 10 cm herhaald. Na oefening kunnen op deze wijze reproduceerbare uitkomsten verkregen worden.

Als voorbeeld van het type weerstandsprofielen, dat in stuifzandgebieden kan voorkomen, wordt een serie dwars over een randwalduin in het Otterlose Bos verrichte metingen besproken (figuur 8.3). De geomorfologie van dit gebied werd behandeld door Koster (1968) en komt ter sprake in hoofdstuk 11. De metingen zijn verricht in augustus 1969 na een periode van enige weken zonder neerslag voor de kurven b, c en d; de metingen voor de kurven a, e en f zijn verricht kort na zware regenval. Een konus met een grondvlak van 1 cm^2 is gebruikt. De stippen



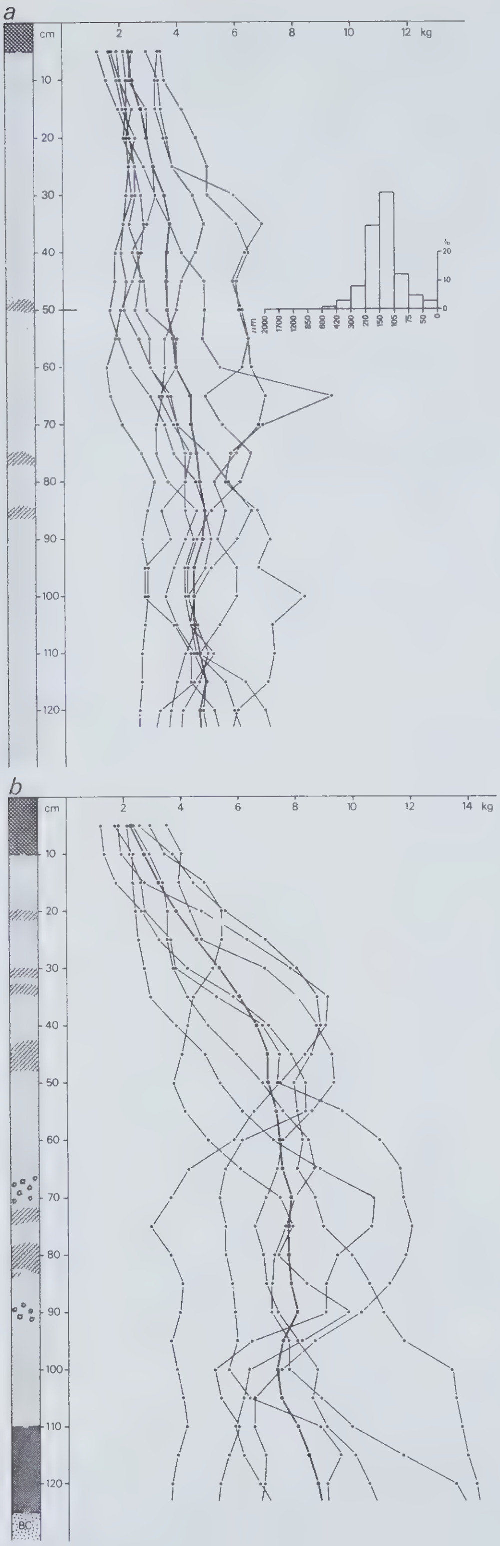
Figuur 8.3
Indringingsweerstand in stuifzandprofielen en bijbehorende schematische doorsnede van een deel van het Otterlose Bos
Penetration resistance in drift sand profiles and the corresponding schematic cross-section of a part of the Otterlose Bos
a, b, d - stuifzand op uitgestoven laagte in dekzand/drift sand on a 'blown-out' cover sand surface
c, e - stuifzand/drift sand
f - stuifzand op bodemprofiel in dekzand/drift sand on a soil profile in cover sand
materiaal-legenda (tevens voor figuur 8.4)/lithology (also for figure 8.4): 1 - mikropodsol/micropodzol, 2 - stuifzand/drift sand, 3 -humeuze laagjes in stuifzand/humose layers in drift sand, 4 - 'rood zand'/'red sand', 5 - (deflatie) grindlaag/(deflation) gravel layer, 6 - dekzand/cover sand, 7 - grondwaterniveau/phreatic surface, 8 - oud bouwlanddek/'Plaggen' soil, 9 - grindhoudend fluvio-glaciaal materiaal/gravelly fluvio-glacial material, 10 - plantenresten/plant remains, 11 - venig dekzand/peaty cover sand, 12 - veen/peat

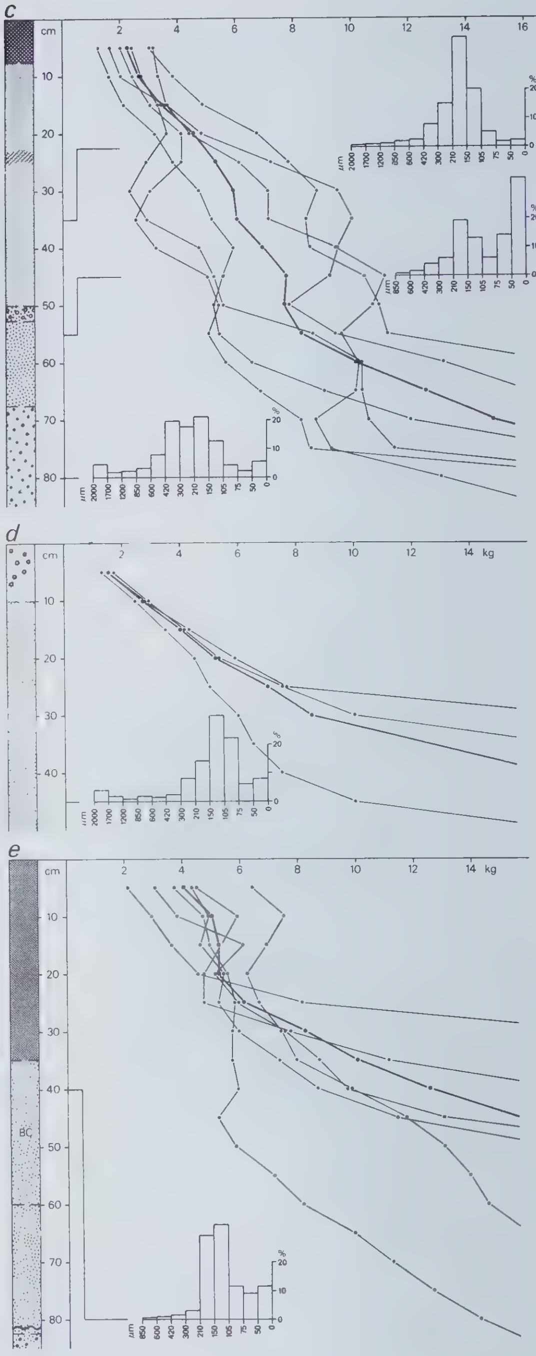
ter weerszijden van de getekende 'gemiddelde' weerstandsprofielen in figuur 8.3 geven een indruk van de spreiding van de gemeten konusweerstanden op de gegeven diepten. Figuur 8.3a geeft de weerstandsverdeling van een 65 cm dik stuifzanddek met humeuze laagjes op uitgestoven dekzand; deze metingen zijn verricht in een gedeeltelijk door mos bedekt aktief stuifzandgebied. Figuur 8.3b geeft de weerstandsverdeling eveneens van een 65 cm dik stuifzanddek op uitgestoven dekzand; de vegetatie bestaat uit grove dennen met onderbegroeiing. De iets hogere waarden boven in het stuifzand ten opzichte van kurve a hangen samen met de vastlegging door vegetatie en de reeds zwakke profielontwikkeling, terwijl de pas op grotere diepte bereikte hoge weerstandswaarden beïnvloed kunnen zijn door de in dit geval hoge (schijn)grondwaterstand. Figuur 8.3c geeft de met de diepte ongeveer gelijkblijvende weerstandsverdeling van een > 1,20 m dik, door grove den en onderbegroeiing vastgelegd, homogeen stuifzandpakket. Figuur 8.3d geeft de weerstandsverdeling van een 80 cm dik stuifzandpakket met recente profielontwikkeling, humeuze laagjes en onderin 'rood zand' op uitgestoven dekzand; op de overgang van stuifzand naar dekzand komt een deflatiegrindlaagje voor, dat duidelijk tot uitdrukking komt in het weerstandsprofiel; de vegetatie bestaat uit grove den en een dichte onderbegroeiing. Figuur 8.3e geeft de met de kurve c vergelijkbare weerstandsverdeling van een > 1,20 m dik stuifzandpakket boven in een vele meters hoog randwalduin onder een dichte eikenhakhoutbegroeiing. Figuur 8.3f tenslotte geeft de weerstandsverdeling van een 45 cm dik stuifzandpakket met humeuze laagjes op een moderpodsol in dekzand in het vlakke, door de randwal omsloten deel van het Otterlose Bos, met als vegetatie hoog opgaand gemengd bos. Uit deze figuur blijkt, dat de stuifzanden een min of meer gelijkblijvende indringingsweerstand met de diepte vertonen en dat de weerstand snel toeneemt met de diepte zodra het onderliggende weinig of niet door bodemvorming beïnvloede dekzand bereikt wordt.

Van de in de Noord-Veluwse stuifzandgebieden — omgeving De Zoom-'t Harde-Mullegen-Wezep — gemeten weerstandsprofielen in diverse materialen is een aantal samengevat in figuur 8.4. Deze waarnemingen zijn alle verricht in een droge periode in augustus 1970, met uitzondering van de kurven d in figuur 8.4, die in juli 1971 gemeten zijn in het Kootwijkse Zand. Bij de groepering van de kurven zijn wat betreft eigenschappen van het materiaal overeenkomstige sedimenten of sedimentopeenvolgingen samengenomen, waarbij tevens gelet is op overeenkomsten betreffende de dikte van de onderscheiden sedimentpakketten, de aard van de profielontwikkeling of de aanwezigheid en dikte van een bouwlanddek en de eventueel bereikte grondwaterstand. De meetplaatsen van de weerstandsprofielen liggen per groep veelal enkele honderden meters tot enkele kilometers uit elkaar in eenzelfde type stuifzand- of dekzandgebied. Naast de weerstandsprofielen is de 'gemiddelde' bodemprofielontwikkeling en sedimentopeenvolging weergegeven.

In figuur 8.4a en b zijn de weerstandsprofielen samengevoegd, die gemeten zijn in een aantal > 1,20 m dikke stuifzandpakketten. Onderscheid is gemaakt tussen weerstandsprofielen, die een uiterst geringe toename in indringingsweerstand vertonen met toenemende diepte (figuur 8.4a) en weerstandsprofielen die een geringe toename vertonen en of gekenmerkt worden door een 'tijdelijke' toename in indringingsweerstand over een bepaald trajekt van enkele decimeters (figuur 8.4b). De eerste groep weerstandsprofielen is kenmerkend voor uiterst tot matig humusarme, wat betreft samenstelling en textuur met de diepte min of meer gelijkblijvende stuifzandpakketten, zoals die voorkomen in de hogere delen van reliëfrijke stuifzandakkumulatiegebieden. Aan de oppervlakte komt een slechts enkele centimeters dikke mikropodsol voor. De gemiddelde kurve in figuur 8.4a geeft het 'normale' weerstandsprofiel aan in zeer tot matig fijne stuifzanden. De tweede groep weerstandsprofielen is gemeten in minder uniforme stuifzandpakketten, waar door het op een bepaalde diepte voorkomen van dikke humeuze lagen of overstoven bouwlanddekken of grovere lagen — door bijmenging met onderliggend grindhoudend (fluvio-glaciaal) materiaal — afwijkingen van het 'normale' weerstandsprofiel voor stuifzand optreden. In deze heterogene materialen is de spreiding van de weerstandsprofielen groter dan in figuur 8.4a. Deze kurven zijn gemeten in ten opzichte van die in figuur 8.4a overwegend minder reliëfrijke, lager gelegen stuifzandakkumulatievormen, veelal in de nabijheid van uitgestoven laagten.

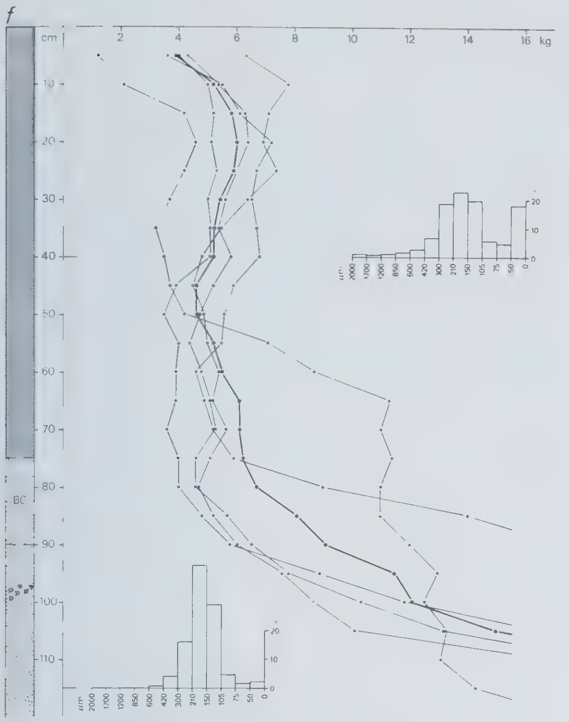
In figuur 8.4c zijn enkele weerstandsprofielen samengenomen van 45-60 cm dikke, uiterst tot zeer humusarme, matig fijne stuifzandpakketten op leemhoudend, zeer fijn uitgestoven dekzand en of op matig grove, grof grindhoudende (fluvio-glaciale) afzettingen. Deze waarnemingen zijn verricht in reliëfarme uitgestoven laagten. De kurven worden gekenmerkt door een geleidelijke toename van de indringingsweerstand met de diepte totdat het dekzand of grindhoudende materiaal wordt bereikt en de weerstand snel toeneemt tot > 15 kg. Gezien de variaties in sedimentopeenvolging vertoont deze bundel weerstandsprofielen een grote

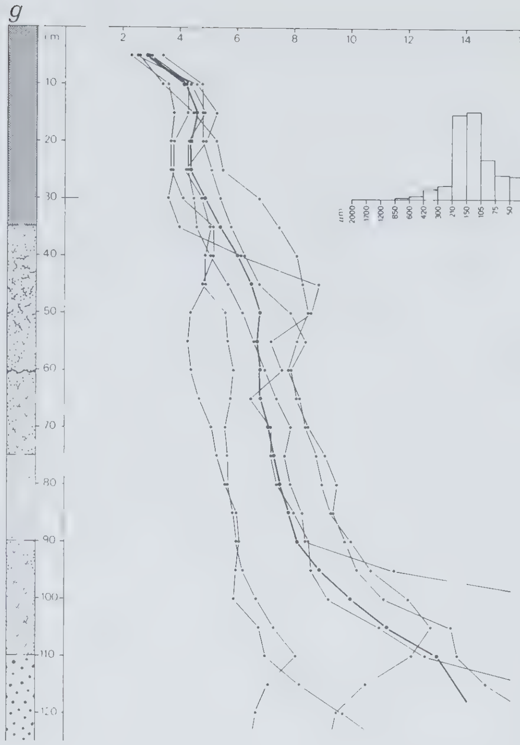




Figuur 8.4

spreiding. In figuur 8.4d zijn enige weerstandsprofielen getekend van ca 10 cm stuifzand op zeer fijn dekzand voorkomend in uitgestoven laagten. Deze kurven vertonen een snelle toename van de weerstand met de diepte. Op 30 à 40 cm diepte is de weerstand normaliter reeds opgelopen tot > 15 kg. Tenslotte is in de figuren 8.4e, f en g een aantal weerstandsprofielen samengevoegd van dekzanden teneinde vergelijking mogelijk te maken met de besproken stuifzandkurven. In figuur 8.4e zijn weerstandsprofielen getekend van zeer fijne tot matig fijne, leemhoudende dekzanden met een ca 25-45 cm dik, grijszwart bouwlanddek. Deze profielen zijn gemeten in < 1,5 m hoge, brede dekzandruggen, grenzend aan de stuifzandgebieden nabij Mullegen. Deze kurven vertonen over het algemeen een snelle toename van de weerstand met de diepte, vergelijkbaar met de kurven in figuur 8.4d, met uitzondering van de bovenste 20 cm. De kurven in figuur 8.4f, die kenmerkend zijn voor ca 70-90 cm dikke, grijszwarte bouwlanddekken op dekzand hebben een verloop, dat, wat de bouwlanddekken betreft, overeenkomt

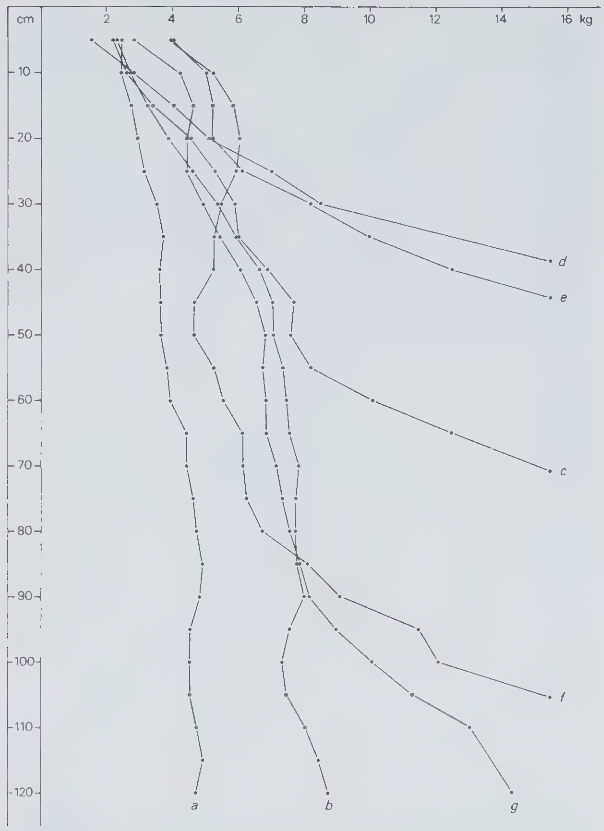




Figuur 8.4
Indringingsweerstand in diverse materialen op de Veluwe; materiaal-legenda zie figuur 8.3; iedere getekende curve geeft het gemiddelde weerstandsprofiel weer van vijf, op enkele decimeters van elkaar gelegen opnamepunten; de dik getrokken lijnen geven op hun beurt de gemiddelde weerstandsprofielen weer van de betrokken bundels weerstandsprofielen; de histogrammen geven de korrelgrootteverdeling van de betrokken afzettingen op de aangegeven diepte weer
Penetration resistance in several materials in the Veluwe; lithology see figure 8.3; every curve represents the mean penetration profile of five profiles, measured at a given locality only decimetres apart; the mean penetration resistance profiles of all drawn curves are in turn indicated with thicker lines; at certain depths the grainsize distribution of the deposits concerned are illustrated
a - stuifzand (homogeen)/drift sand (uniform), b - stuifzand (heterogeen)/drift sand (variable), c - stuifzand op dekzand en of fluvio-glaciaal materiaal/drift sand on cover sand and or fluvio-glacial material, d - dekzand (uitgestoven laagte)/cover sand ('blown-out' area), e -dekzand/cover sand, f - oud bouwlanddek op dekzand/'Plaggen' soil in cover sand, g - dekzand op venig materiaal/cover sand on peaty material

met dat voor stuifzanden en daaronder verloopt de snelle toename van de weerstand konform de weerstandstoename in dekzanden in de figuren 8.4c, d en e. De kurven in figuur 8.4g tenslotte vertonen een weerstandsprofiel, dat voor een groot deel van het gemeten trajekt veel overeenkomst vertoont met de voor stuifzanden gemeten profielen. Vanaf ca 90 cm neemt de weerstand pas in enkele gevallen toe tot > 15 kg. Het betreft hier profielen met een 24-45 cm dik bouwlanddek op dekzand met daarin ingeschakelde venige horizonten, op een diepte van ca 110 cm overgaand in grindhoudend zand. De grondwaterspiegel variëert in deze laatste profielen van 60-80 cm - m.v. Deze metingen zijn verricht in een laag gelegen, vlak dekzandgebied tussen de dekzandruggen nabij 't Harde en Mullegen. Mogelijk dat de voor dekzanden langzame toename van de indringingsweerstand bij toenemende diepte in deze gevallen mede beïnvloed is door de hoge grondwaterstand. De gemiddelde weerstandsprofielen in de diverse materialen zijn samengevoegd in figuur 8.5. De kurven d, e en f komen globaal overeen met de door Van Dam & Hulshof (1967) bepaalde weerstandsprofielen voor respektievelijk vaaggronden, veldpodsolgronden en enkeerdgronden (figuur 8.2).

Volgens Schelling (1955) blijft het poriënvolume in stuifzanden ongeveer konstant bij toenemende diepte, terwijl het in dekzandprofielen over het algemeen met de diepte snel afneemt. In het onderste deel van stuifzandpakketten neemt het poriënvolume zelfs vaak weer iets toe, dankzij de aldaar wat hogere humusgehalten. Deze verschillen in het verloop van het poriënvolume met de diepte in stuif- en dekzanden blijken duidelijk tot uiting te komen in de gegeven weerstandsprofielen. Uit het voorgaande blijkt, dat homogene 'bekende' stuifzanden en dekzanden al dan niet met een dunne stuifzandbedekking, kenmerkende weerstandsprofielen opleveren. Deze twee groepen weerstandsprofielen kunnen elkaar alleen in de bovenste 30 à 50 cm overlappen. In het geval van 'onbekende' zandige windafzettingen, die overeenkomen in textuur en min of meer gelijke humus- en vochtgehalten bezitten, kan het weerstandsprofiel dan ook behulpzaam zijn bij het onderscheiden van stuif- en dekzanden. Zodra echter van heterogeen opgebouwde stuifzandprofielen en bij wijze



Figuur 8.5
Gemiddelde indringingsweerstandsprofielen voor Veluwse stuif- en dekzanden
Mean penetration resistance profiles of drift and cover sands of the Veluwe
a-g - gemiddelden van de bundels weerstandsprofielen in figuur 8.4/mean curves in figure 8.4

van voorbeeld van dekzanden met bouwlanddekken of venige lagen of een hoge grondwaterspiegel weerstandsprofielen gemeten worden, dan gaan deze elkaar voor een belangrijk deel overlappen. In deze gevallen kunnen de afzettingen overigens meestal wel op andere kriteria onderscheiden worden in stuif- en dekzanden.

De hierboven besproken gemiddelde weerstandsprofielen geven uiteraard alleen trendverschillen aan, temeer daar gedetailleerde bodemprofiel- en materiaalbeschrijvingen ontbreken, op grond waarvan nader onderzocht kan worden, welke kombinatie van faktoren van invloed is op het verloop van de indringingsweerstand in de bovenste 120 cm van de verschillende afzettingen.

9.1 Inleiding

Teneinde de samenstelling, vooral wat betreft de aard en verdeling van de aanwezige humuskomponenten, van de verschillende lagen en horizonten in stuifzandprofielen en in door stuifzand bedekte dekzandprofielen te kunnen bepalen, is mikromorfologisch onderzoek verricht. Hiertoe zijn van enige lokaties mammoetslijpplaten van ongestoorde monsters vervaardigd. Tevens is het mikromorfologisch onderzoek gebruikt om gegevens te verkrijgen over textuur- en struktuurkenmerken van de stuifzanden, zoals het al dan niet aanwezig zijn van een zeer fijne gelaagdheid, de wijze van korrelstapeling, de mate van sortering en de aanwezige korrelgrootten en -vormen.

Eén van de veldkenmerken van stuifzanden, die een onderscheiding mogelijk maken met de dekzanden, is de aanwezigheid van humus. Stuifzanden bestaan overwegend uit uiterst en zeer humusarm (< 1,5% organische stof) zand. Als gemiddelde in 66 stuifzandmonsters afkomstig uit het Otterlose Bos, Spelderholt en het Leuvenumse Bos, werd slechts een waarde van 0,2% gevonden en als hoogste bereikte waarde 1,6%. Matig humusarme zanden (1,5-2,5%) worden aangetroffen bij die stuifzanden, die in afwijking van wat normaliter het geval is, een lutum + siltpercentage bereiken van > 1 à 2%. De vermelde humuspercentages geven de gemiddelde waarden weer over 5-15 cm dikke zandpakketten. De humus komt echter meestal niet homogeen verdeeld door het gehele stuifzandpakket voor, maar gekoncentreerd in laagjes, die gescheiden worden door uiterst tot zeer humusarm stuifzand. Het is voor de rekonstruktie van de genese en de bepaling van de snelheid van akkumulatie van de stuifzanden van belang te weten of de voorkomende humeuze laagjes gevormd zijn door instuiving van humeus materiaal afkomstig van door deflatie aangetaste bodemprofielen uit de direkte omgeving of dat er sprake is van overstoven vegetatie-, gefossiliseerde AO-, A1- of mikropodsol-horizonten. In het eerste geval is geen onderscheid mogelijk van de nagenoeg geen organische stof bevattende stuifzanden, die door relatief snelle opstuiving kunnen zijn ontstaan. In het tweede geval zal de vaak regelmatige afwisseling van humeuze en niet-humeuze zandlaagjes het resultaat zijn van een relatief langzame of althans intermitterende opstuiving, waarin perioden met zandaanvoer afgewisseld worden met stilstandfasen in de verstuiving, waardoor het stuifzand door vegetatie vastgelegd kon worden.

Humeuze laagjes, in dikte variërend van enkele millimeters tot enkele centimeters, komen in stuifzandpakketten op alle mogelijke diepten voor. Vooral in de onderste delen van stuifzandpakketten, die gelegen zijn op niet door verstuiving aangetaste oppervlakken, komen humeuze laagjes het meest voor. Langs de randen van stuifzandgebieden, in de nabijheid van oude bouwlanddekken en in reliëfarme overstoven stuifzandgebieden kan het stuifzand relatief veel humeus materiaal bevatten. Opgestoven stuifzand voorkomend in uitgestoven laagten bevat daarentegen meestal uiterst lage humusgehalten.

De ongestoorde monsters voor mikromorfologisch onderzoek werden genomen met behulp van messing blikjes met de afmeting 15 x 8 x 5 cm en mammoetslijpplaten werden vervaardigd volgens de methode beschreven door Jongerius & Heintzberger (1963) en Mücher (1973). Bij de beschrijving van de waargenomen verschijnselen is voornamelijk de terminologie van Brewer (1964) gevolgd. Gebruik is gemaakt van een Leitz orthoplan polarisatiemikroskoop. Met behulp van een Blaschke (1967) telokulair zijn middels punttellingen (1000 punten) de diverse typen skeletkorrels, holten en overwegend organische materialen in volumeprocenten bepaald per horizont of laag. Met behulp van het diagram van Van der Plas & Tobi (1965) is voor tellingen tot 1000 punten de mate van nauwkeurigheid te bepalen van de opgegeven waarden ten opzichte van de werkelijke waarden in volumepercentages bij een betrouwbaarheid van 95%. Deze afwijking bedraagt maximaal 3%. De grootte van de diverse verschijnselen in de slijpplaten is gemeten met een meetokulair in kombinatie met een mikrometerplaatje.

9.2 Mikromorfologisch onderzoek van stuif- en dekzanden

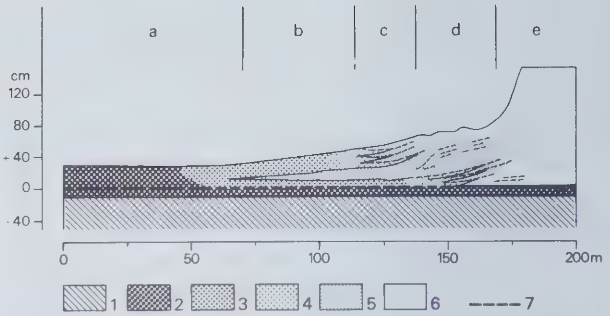
Volgens Schelling (1955) is de humus afkomstig van verstoven bodemprofielen, behalve in het beginstadium van verstuiving, van weinig of geen betekenis ter verklaring van het humusgehalte van stuifzanden. Ook Jongerius & Marsman (1971) en Marsman (1971) zijn van mening, dat humeus materiaal in stuifzand slechts zelden verklaard kan worden door instuiving van humeus materiaal afkomstig van door deflatie aangetast bodemprofielmateriaal uit de direkte omgeving, maar veeleer door overstuiving van de vegetatie-, de AO- of A1-horizonten in stuifzand. Dit houdt dus in, dat de humeuze laagjes stilstandfasen in de overstuiving vertegenwoordigen. Volgens Zonneveld & Leys (1962), Van den Toorn (1967) en Stiboka (1972) kan echter ook verstoven humeus materiaal van bete-

kenis zijn in stuifzanden. In stuifzanden komen overigens veelvuldig pakketten — zonder twijfel als zodanig herkenbaar — 'rood zand' en 'loodzand' voor.

Door Jongerius & Marsman (1971) is door mikromorfologisch onderzoek van slijpplaten afkomstig van de A1-horizonten in stuifzand en in een overstoven haarpodsolgrond en van humeuze laagjes in stuifzand nagegaan welke processen een rol spelen bij de vorming van humeuze laagjes in stuifzanden. Zij komen op grond van de mate van voorkomen en de wijze van verdeling van de door hen onderscheiden humuskomponenten — moderhumus, (allochtone) bollen, opake plantenresten — over de diverse lagen en horizonten tot de volgende konklusies:

a. De organische stof in humeuze laagjes in stuifzand is voor het grootste deel ter plaatse ontstaan en afkomstig van vegetatie (mossen, grassen en heide) of A1-horizonten die door stuifzand zijn bedekt.
b. De aanwezigheid van veel moderhumus duidt op een langdurige vegetatie en of langzame overstuiving, terwijl de aanwezigheid van veel gehumificeerde plantenresten in humeuze laagjes wijst op een kortstondige vegetatie, die is gefossiliseerd door een snelle overstuiving.
c. Het voorkomen van zowel moderdeeltjes als gehumificeerde plantenresten in dikkere humeuze lagen, tezamen met een min of meer gelaagde opbouw, wijst op een langzame instuiving van zand en gelijktijdige bodemvorming.

Dit laatste is vooral door Marsman (1971) onderzocht, die de vorming van humuspodsolen met een matig dikke A1-horizont, langs de rand van stuifzandgebieden voorkomend, toeschrijft aan een geleidelijke ophoging met stuifzand waardoor de heide- of kruidenvegetatie zich kon handhaven. Vanaf het eigenlijke stuifzandgebied met uiterst tot zeer humusarm stuifzand vindt naar de rand toe een geleidelijke toename van humeus materiaal in het stuifzand plaats (figuur 9.1). Het mikromorfologische beeld van de humuskomponenten in de A1-horizont in stuifzand en in de A1-horizont van de overstoven haarpodsolgrond vertoont veel overeenkomst (Marsman, 1971). Deze A1-horizont in stuifzand komt qua ontstaanswijze overeen met de humeuze laagjes in stuifzand, zoals die vaak aan de basis van stuifzandpakketten worden aangetroffen en die ook ontstaan zijn door een langzame overstuiving in de aanvangsfase, waardoor de vegetatie mee kon groeien met de overstuiving. Deze lagen worden dientengevolge gekenmerkt door zowel moderhumus (aggregaatjes) als opake plantenresten (Jongerius & Marsman, 1971).



Figuur 9.1
Bodemprofielontwikkeling en humusgehalte op de overgang van stuifzand naar dekzand (naar Marsman, 1971)
Soil profile development and organic matter content at the transition from drift sand to cover sand (after Marsman, 1971)
a - kamppodsolgrond/'Kamp'xeropodzol soil, b - haarpodsolgrond met een dun stuifzanddek waarin een duidelijke A1-horizont is ontwikkeld/'Haar' xeropodzol soil with a thin drift sand layer in which a clear A1 horizon is developed, c - haarpodsolgrond met een dik stuifzanddek/'Haar' xeropodzol soil with a thick drift sand layer, d - duinvaaggrond op een haarpodsolgrond/'Duin' xerovague soil on a 'Haar' xeropodzol soil, e - duinvaaggrond/'Duin' xerovague soil
1 - oorspronkelijk podsolprofiel in dekzand/original podzol profile in cover sand, 2 - zeer humeus stuifzand/very humose drift sand (5-8% organische stof/organic matter), 3 - matig humeus/moderately humose (2,5-5%), 4 - matig humusarm/moderately poor in humus (1,5-2,5%), 5 - zeer humusarm/very poor in humus (0,75-1,5%), 6 - uiterst humusarm/extremely poor in humus (0-0,75%), 7 - oorspronkelijk maaiveld/original surface

Matig dikke humeuze bovengronden in podsolgronden worden op diverse plaatsen aangetroffen en worden dan, afgezien van de ontstaanswijze door ophoging door plaggenbemesting of door inwaaiing van stuifzand, toegeschreven aan de volgende faktoren: vaak herhaalde grondbewerking in bos (Van Lynden, 1958), instuiving van materiaal in de periode dat de gronden als bouwland in gebruik waren (De Coninck, 1957) of het optreden van een weelderige grasvegetatie (Pape, 1970). Met deze laatste verklaring verwant is de mening dat een relatief sterke profielontwikkeling in jonge duinvaaggronden het gevolg kan zijn van een dichte eikenhakhoutvegetatie (Koster, 1968).

Stoutjesdijk konstateerde overigens op noordhellingen van stuifzandheuvels een hoger humusgehalte in de mikropodsol aan de oppervlakte dan op de overige hellingen. Ook van jonge kustduingebieden is bekend, dat de wat vochtiger hellingen met noord-expositie ten opzichte van de drogere hellingen met zuid-expositie een sterker ontwikkeld bodemprofiel bezitten.

Voor mikromorfologische beschrijvingen van de vorming van podsolen in duin- of dekzanden in relatie tot het voorkomen van diverse humuskomponenten wordt, ter vergelijking met de hier waargenomen hoeveelheden en verdelingen van humuskomponenten, verwezen naar De Coninck & Laruelle (1964), Sevink et al. (1970), Eswaran et al. (1972), Righi & De Coninck (1974) en De Coninck et al. (1974). Voor

de beschrijving en interpretatie van de in de slijpplaten waargenomen verschijnselen is gebruik gemaakt van deze literatuur.

9.3 Beschrijving van de onderzochte profielen

Van de diverse lokaties, waar materiaalonderzoek is verricht aan door stuifzand overstoven podsolprofielen, zijn er enige uitgekozen voor mikromorfologisch onderzoek. In profielkuilen nabij Terlet, in het Stroese Zand en nabij Woeste Hoeve zijn ongestoorde monsters genomen voor slijpplaten; variërend in bemonsteringsdiepte van 3 - 400 cm - m.v. (tabel 9.1). De lokaties staan aangegeven op de bemonsteringskaart (appendix 1). Het overstoven profiel nabij Terlet is onderzocht vanwege het uitzonderlijke karakter van de aldaar voorkomende stuifzandlagen, die wat kleur en korrelgrootte betreft nooit elders in de Veluwse stuifzanden zijn aangetroffen; de lokatie in het Stroese Zand is gekozen vanwege de exceptioneel grote aantallen dunne en dikke humeuze laagjes in het stuifzand; het profiel nabij Woeste Hoeve is onderzocht om de aard van de bodemvorming in het stuifzand te kunnen vergelijken met die in het onderliggende dekzandprofiel.

Het leemgehalte en de mediaan van de zandfraktie zijn geschat in het veld, de laatste veelal met behulp van een zandlineaal. Het humusgehalte is in het veld geschat op grond van kleurverschillen. Schelling (1955) geeft aan hoe de kleur van stuif- en dekzanden samenhangt met het humusgehalte (figuur 8.1). Daarnaast is gebruik gemaakt van de analyseresultaten aangaande de korrelgrootteverdelingen, door oxydatie bepaalde humusgehalten, en in de slijpplaten bepaalde volumepercentages humusfragmenten en -huiden. Van enkele in dit en in de overige hoofdstukken over materiaalonderzoek besproken stuifzandprofielen zijn de grindhoudende afzettingen van de ondergrond op samenstelling onderzocht (figuur 11.2), om uit te maken of de materialen tot fluvio- of preglaciale afzettingen gerekend moeten worden.

Terlet

De monsters van het profiel Terlet zijn afkomstig uit een profielkuil gegraven in een ca 1 m hoge stuifzandheuvel in een door struiken dopheide, en opslag van grove den, zomereik en berk vastgelegd, tamelijk vlak stuifzandgebied, met een reliëf van < 1,5 m, op de Arnhemse Heide ten zuiden van Terlet. De direkte omgeving bestaat ten dele uit een uitgestoven laagte in grindhoudend fluvio-glaciaal materiaal en ten dele is het haarpodsolprofiel in hetzelfde materiaal overstoven door een grijs gekleurd, grofzandig en fijn grindhoudend, 0-150 cm dik stuifzandpakket. De sedimentopeenvolging en de profielontwikkeling wordt als volgt omschreven:
+5 - 0 cm:
strooisellaag
0 - 9 cm:
mikropodsol in bruinzwart, leemarm, matig humeus, matig grof stuifzand
9 - 20 cm:
donkergrijs, leemarm, matig humusarm, matig grof stuifzand
20 - 74 cm:
laagsgewijze afwisseling van 1 à 2 cm dikke donkergrijze, leemarme, matig humeuze, matig grofzandige stuifzandlaagjes en grijs-lichtbruin, leemarm, zeer humusarm, matig grof stuifzand; tussen 29-31, 46-48 en 58-63 cm komen grijze, leemarme, zeer tot uiterst humusarme, zeer grofzandige, fijn grindhoudende stuifzandlaagjes voor
74 - 86 cm IIA1:
donkerzwart, leemarm, humusrijk materiaal
86 - 94 cm IIA2:
grijsbruin, leemarm, humusarm materiaal
94 - 103 cm IIB2h:
zwart, leemarm, humusrijk, verkit, grof grindhoudend materiaal: het ca 1-4 cm grove grind komt op een diepte van 94-98 cm als een keienvloer voor
103 - 125 cm IIB22/B3:
donkerbruin tot licht geelbruin gevlekt, leemarm, matig humusarm materiaal
> 125 cm IIB3/C:
geleidelijke overgang naar licht geelbruin, grindhoudend materiaal.

Voor de korrelgrootteverdeling van dit stuifzand op de dieptes 25-35, 30-40, 45-50 en 60-65 cm wordt verwezen naar appendix 3a (monsters 72/11, 10, 9 en 8). Het stuifzand heeft een ten opzichte van de 'normale' stuifzandvoorkomens geheel afwijkende grijze kleur en een extreem grove korrelgrootteverdeling. Op grond van deze afwijkende kleur en korrelgrootte en het voorkomen van vele dunne humeuze laagjes wordt verwacht, dat dit stuifzandpakket het resultaat is van een relatief langzame, lokale verstuiving van het grindhoudende materiaal uit de direkte omgeving. De grijze kleur kan veroorzaakt zijn door het instuiven van loodzand (Maarleveld & De Lange, 1973). Ook Schelling (1955) vermeldt het sporadisch voorkomen van verstoven pre- of fluvio-glaciaal materiaal.

Stroese Zand

Deze lokatie ligt aan de rand van het Stroese Zand ten zuiden van Vossen. De monsters zijn verzameld onderaan de flank van een 4 à 5 m hoge, ca 30 m in diameter, geïsoleerd liggende stuifzandheuvel, die omgeven wordt door een vlakke uitgestoven laagte in grindhoudend

lokatie location	slijpplaatnummer slide number	materiaal material	horizont horizon	diepte (in cm) depth	gelaagdheid stratification	korrelstapeling grain packing	sortering sorting	korrelgroottefraktie in µm grainsize fractions	S-matrix	transparante korrels transparent grains	gesteente fragmenten en opake korrels, rock fragments and opaque grains	holten, voids	humusfragmenten (dispers en moder), humus fragments (dispersed and "moder")	huiden, cutans	plantenresten (weinig of niet gehumificeerd), plant fragments (slightly or non humified)	grote humusfragmenten (sterk gehumificeerd/dispers), large humus fragments (strongly humified/dispersed)	humusballen (allochtoon) humus "balls" (allochtonous)	moderbollen "moder spheres"	sclerotia (fragmenten) sclerotia (fungal resting bodies, fragments)	ijzerkonkreties en -huiden ferric nodules and cutans
										in %						aanwezigheid, presence				
	889	stuifzand (mikropodsol) drift sand (micropodzol)	1(3cm)op C(12cm)	6- 21	(+)	(+)	-	150-600	"granular"	47	3	31.5	17.5	0.5	0.5	+	(+)	(+)	-	(+)
Terlet	888	stuifzand drift sand	C(15cm)	21- 36	+	(+)	-	150-300 (420-1000)	"granular/ chlamydomorphic"	53	3.5	30	11.5	1.5	0.5	+	(+)	(+)	-	(+)
	887	stuifzand drift sand	C(15cm)	37- 52	+	(+)	(+)	150-300 (300-1000)	"granular/ chlamydomorphic"	59.5	2.5	29.5	7	1	0.5	(+)	(+)	(+)	-	-
	886	grindhoudend zand, gravelly sand	C(2cm)op A1,2(13cm)	72- 87	-	(+)	-	150-1000	"intertextic/ agglomeroplasmic"	35.5	2	27.5	33	0.5	1.5	+	(+)	+	(+)	-
	892	stuifzand drift sand	C(15cm)	27- 42	+	(+)	+	150-300 (50-75)	"granular"	60	4.5	28	5.5	2	<0.5	+	+	(+)	-	-
Stroese Zand	891	stuifzand drift sand	C(15cm)	62- 77	+	(+)	+	75-300	"granular"	54	3	33.5	5.5	4	<0.5	+	+	(+)	(+)	(+)
	890	dekzand cover sand	C(2cm) A1,2(13cm)	98-113	-	(+)	-	75-420	"intertextic/ agglomeroplasmic"	36.5	3	28	29.5	1.5	1.5	+	(+)	+	-	(+)
	844	stuifzand drift sand	A0(8cm)op	3- 18	-	-	(+)	150-420	"intertextic/ agglomeroplasmic"	33.5	3.5	32	20.5	1	9.5	+	(+)	+	-	(+)
	844	(mikropodsol) (micropodzol)	A1,2(7cm)	3- 18	(+)	(+)	(+)	150-420	"granular/ agglomeroplasmic"	47.5	3	36.5	10	1.5	1.5	(+)	(+)	(+)	-	-
	843	stuifzand drift sand	1,C(15cm)	18- 33	(+)	(+)	(+)	75-300 (300-1000)	"granular"	49	4	34.5	7	1	4.5	+	(+)	(+)	(+)	(+)
	842	stuifzand drift sand	C(15cm)	89-104	+	+	(+)	150-420 (420-3000)	"granular/ agglomeroplasmic"	48.5	5.5	33.5	9	3	0.5	-	(+)	(+)	-	+
	841	dekzand cover sand	A1(3cm)op	118-133	-	-	-	105-300	"agglomeroplasmic"	25	1	36	32.5	1	4.5	+	+	+	+	-
	841		A2(12cm)	118-133	(+)	(+)	(+)	(300-2000)	"granular"	57	3	34	3.5	2.5	-	(+)	(+)	-	-	-
	840	dekzand cover sand	A22(7cm)op	137-152	-	+	-	75-420	"granular/ porphyroskelic" (B2ir.)	49.5	7	30.5	5	8	-	-	(+)	+	-	+
Woeste Hoeve	839	dekzand cover sand	B2h(8cm) B22/B3	155-170	(+)	+	-	(420-3000) 150-300	"granular/ chlamydomorphic"	49	5	36	1.5	8.5	-	-	-	-	-	-
	846	dekzand (Laag v.Usselo) cover sand (Usselo Soil)	(15cm) C(7cm)op L.v.U.(8cm)	370-385	-	+	-	(300-2000) 150-420 (50-105)	"phyric/ chlamydomorphic"	47	2	39	1	10	1	(+)	-	-	-	+
	845	lemig preglaciaal zand loamy preglacial sand	D(15cm)	385-400	-	(+)	-	300-600 (<2-105)	"phyric/ chlamydomorphic"	56.5	2.5	34.5	-	6.5	-	-	-	-	-	+

Wijze van voorkomen:
Mode of occurrence:

	gelaagdheid stratification	korrelstapeling grain packing	sortering sorting	aanwezigheid (diverse elementen) presence (various elements)
+	horizontaal of scheef horizontal or cross	dicht dense	goed well	vrij veel fairly many
(+)	verstoord disturbed	half-open	matig moderately	weinig few
-	afwezig absent	open	slecht poorly	afwezig absent

Tabel 9.1 Resultaten van de optisch-volumetrische punttellingen in slijpplaten van verschillende lagen en horizonten van een drietal stuifzandprofielen

Table 9.1 Results of optic-volumetric point-counts on thin sections of different layers and horizons of three drift sand profiles

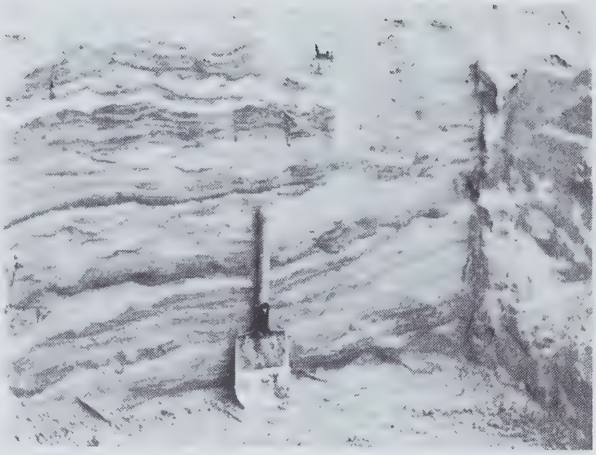
preglaciaal materiaal. Het stuifzandgebied is vastgelegd door begroeiing met struikheide, buntgras en vliegdennen. Aan de basis van het, door een zeer groot aantal humeuze laagjes gekenmerkte, stuifzandpakket is het oorspronkelijke bodemprofiel met een ca 30 cm dik, donkergrijs-zwart humeus dek bewaard gebleven (overstoven kamppodsolgrond). De humeuze banden in het stuifzandpakket verlopen over het algemeen parallel aan het huidige heuveloppervlak en hebben naar onderen toe een steeds vlakkere ligging. Naast horizontaal gelaagde, komen tevens scheef gelaagde eenheden voor. Opvallend is het vaak zwak golvende verloop van de humeuze laagjes. De gelaagdheid in het stuifzandprofiel is op enkele plaatsen verstoord door graafgangen. Dit profiel wordt geïllustreerd in de figuren 9.2 en

Figuur 9.2
Stuifzandprofiel Stroese Zand (nabij Vossen)
Drift sand profile Stroese Zand (near Vossen)

9.3. De sedimentopeenvolging en de profielontwikkeling in de stuifzandheuvel wordt als volgt omschreven:

0 - 5 cm:
mikropodsol in leemarm tot zwak lemig, matig humusarm, matig fijn stuifzand

5 - 25 cm:
geelgrijs, leemarm, zeer humusarm, zeer fijn stuifzand



Figuur 9.3
Detail stuifzandprofiel Stroese Zand
Detail drift sand profile Stroese Zand

25 - 350 cm:
laagsgewijze afwisseling van geelbruin, leemarm, zeer tot uiterst humusarm, zeer fijn stuifzand en 1-8 cm dikke, zwak tot sterk lemige, uiterst tot zeer fijnzandige, licht tot donkergrijze humeuze laagjes

350 - 380 cm IIAan 1,2:
zwart, sterk lemig, humusrijk, zeer fijn dekzand

380 - 390 cm IIA2B:
grijsbruin, zwak lemig, matig humeus, zeer fijn dekzand

> 390 cm IIB2/B3:
roodbruin, leemarm tot zwak lemig, matig humeus, zeer fijn dekzand; op een diepte van ca 550 cm vindt een geleidelijke overgang plaats naar geelgroen, leemarm, matig fijnzandig, fijn grindhoudend materiaal.

De korrelgrootteverdeling van het humusarme stuifzand op dieptes 15-20, 160-165 en 315-320 cm en die van het onderliggende dekzand op dieptes 450-455 en 530-535 cm staat vermeld in appendix 3a (monsters 69/62 t/m 66). De korrelgrootteverdeling van de dikste humeuze banden in het stuifzand op dieptes 100-105, 120-125, 140-145, 210-215 en 335-340 cm staat vermeld in dezelfde appendix onder de monsternummers 69/1C t/m 5C. Het stuifzand in de hier besproken stuifzandheuvel is bijzonder fijnzandig, waarbij bovendien opvalt dat de humeuze lagen in het stuifzand uitzonderlijk hoge leemgehalten bevatten (van ca 10-19%).

Deze stuifzandheuvel wordt beschouwd als het restant van een oorspronkelijk veel groter plateaurestduin. Aan de voorwaarden voor het ontstaan van stuifzandpakketten met grote aantallen humeuze laagjes wordt juist in het geval van relatief langzaam overstoven, oorspronkelijke depressies in dekzand goed voldaan. De zich gedurig herstellende vegetatie in de depressie fungeert als zandvanger en gaat snelle deflatie tegen. Een andere mogelijkheid is, dat hier spra-

ke is van een toevallig aangetroffen, uitzonderlijke situatie, waar veel humeus materiaal afkomstig uit de direkte omgeving is ingestoven in het stuifzand.

Woeste Hoeve

De monsters voor mikromorfologisch onderzoek in het stuifzandgebied nabij Woeste Hoeve zijn verzameld in de wand van een tijdelijke groeve, waarin de volgende sedimentopeenvolging en profielontwikkeling aanwezig was:

+8 - 0 cm:
strooisellaag

0 - 13 cm:
mikropodsol in leemarm, matig tot zeer humeus, matig fijn stuifzand

13 - 21 cm:
idem

21 - 42 cm:
geelbruin tot grijs gevlekt, leemarm, matig tot zeer humusarm, matig fijn stuifzand

42 - 90 cm:
geelbruin, leemarm, uiterst tot zeer humusarm, matig fijn stuifzand

90 - 104 cm:
bruin, leemarm, matig humeus, matig grof stuifzand; de grens op 90 cm is opvallend onregelmatig en vertoont naar boven gerichte uitstulpingen

104 - 118 cm:
grijs, leemarm, matig tot zeer humusarm, matig fijn stuifzand (verstoven A2-materiaal) met daarin ca 1 cm dikke humeuze laagjes

118 - 121 cm IIA1:
zwart, leemarm, humusrijk, matig fijn dekzand (restant A1-hor.)

121 - 144 cm IIA2:
grijs tot grijsbruin, leemarm, matig humusarm, matig fijn dekzand

144 - 153 cm IIB2h:
zwart, leemarm, humusrijk, matig fijn dekzand; aan de onderzijde van deze horizont (152-153 cm) ligt een verkitte B2ir.-band

153 - 170 cm IIB22:
rood tot geelbruin, leemarm, matig humeus, matig fijn dekzand

170 - 200 cm IIB3:
bruinzwart tot geelbruin gevlekt, leemarm, matig tot zeer humusarm, matig fijn dekzand

200 - 377 cm IIC:
geelbruin, leemarm, uiterst tot zeer humusarm, matig fijn tot matig grof dekzand met fijne grindsnoertjes

377 - 385 cm:
Laag van Usselo

385 - 395 cm:
bruin, sterk lemig, grof grindhoudend materiaal; het grind is gekoncentreerd als een keienvloer en of komt voor als opvulling van kleine vorstwiggen

$>$ 395 cm:
geelbruin, matig fijn tot zeer grofzandig, grindhoudend preglaciaal materiaal.

De korrelgrootteverdeling van het stuifzand op dieptes 60-65 en 90-95 cm en van het dekzand op een diepte van 250-260 cm staat vermeld in appendix 3a (monsters 72/1 t/m 5). Dit stuifzandgebied van de Ramenberg bestaat voor een belangrijk deel uit een min of meer W-O georiënteerde laat-glaciale zandrug, die door stuifzand overdekt is. Op korte afstand van de bemonsteringsplaats komt tussen de Laag van Usselo en de top van het preglaciale materiaal een dekzandpakket voor tot een maximale dikte van ca 100 cm. Elders in de groeve ontbreekt het gehele dekzandpakket en komt een uitgestoven laagte in preglaciaal materiaal voor.

De tussen 104-118 cm gekonstateerde stuifzandlaag, die praktisch geheel bestaat uit loodzand, afkomstig van het in verstuiving geraakte bodemprofiel in de direkte omgeving, vertegenwoordigt de beginfase van de verstuiving en rust direkt op de top van de overstoven haarpodsolgrond. Het hierop voorkomende bruine, matig humeuze stuifzand tussen 90-104 cm lijkt tevens veroorzaakt te zijn door bijmenging met oorspronkelijke bodemprofielmateriaal; in dat geval kan gesproken worden van een 'omkering van het bodemprofiel' tijdens verstuiving. Bij verdergaande verstuiving is de hoeveelheid verstoven niet-humeus C-materiaal zo groot, dat er van de resten van het oorspronkelijke bodemprofiel niets meer te zien is.

In een later stadium van de afgraving te Woeste Hoeve zijn daar waar de A1-horizont van het overstoven haarpodsolprofiel in dekzand venig ontwikkeld was, monsters genomen voor palynologisch onderzoek en C-14 analyse en van het op die plaats aanwezige profiel is tevens een beschrijving gemaakt (hoofdstuk 10).

9.4 Beschrijving van de slijpplaten

9.4.1 Textuur- en struktuurkenmerken

Afzettingen praktisch uitsluitend bestaande uit sterk gesorteerde en afgeronde kwartskorrels benaderen homogene kogelvormige korrelstapelingen, die volgens Von Engelhardt (1960) in hun meest poreuze pakking (romboëdrisch) een koördinaatgetal (Ko = aantal raakpunten tussen de korrels) van 3 en een porositeit (ε) van 0,95 bezitten; in hun dichtste pakking een Ko = 12 en ε = 0,25 en in hun normale pakking een Ko = 5-10 en ε = 0,40-0,45. Hoe slechter gesorteerd het sediment is des te lager is de porositeit, terwijl bij afwijkingen van de bolvormigheid van de korrels de porositeit over het algemeen toeneemt. Duinzanden bezitten porositeitswaarden van 0,37-0,44 (Von Engelhardt,

1960). Schelling (1955) geeft voor stuifzanden poriënvolume-gehalten van 45-50% aan. In de slijpplaten van de diverse bodemprofielhorizonten en van humeuze lagen in stuifzand blijkt een belangrijk deel van de aanwezige holten tussen de korrels opgevuld te zijn met organisch materiaal in de vorm van fragmenten en huiden (6-33,5%, tabel 9.1). De percentages holten, die bepaald zijn door middel van slijpplaten bereiken dan ook slechts waarden van 27,5-39%.

De wijze van korrelstapeling of pakking van homogene zanden bepaalt de porositeit (Jongerius, 1957). Om de wijze van korrelstapeling van de onderzochte materialen te kunnen beschrijven is de volgende indeling gemaakt in een zestal typen korrelstapelingen afhankelijk van het aantal raakpunten (Ko) tussen de korrels in de slijpplaten en de mate van sortering (So) wat betreft korrelgrootten:

korrelstapeling	Ko	So
dicht enkelvoudig	⩾ 5	goed/matig
dicht samengesteld	> 5	matig/slecht
half-open enkelvoudig	2 - 4	goed/matig
half-open samengesteld	2 - 4	matig/slecht
open enkelvoudig	< 2	goed/matig
open samengesteld	< 2	matig/slecht

Uiteraard mede afhankelijk van de verdeling van het organische materiaal is er in het geval van een enkelvoudige korrelstapeling meestal sprake van enkelvoudige pakkingsholten, terwijl bij een samengestelde korrelstapeling van samengestelde pakkingsholten gesproken wordt. De meeste stuifzandlagen bezitten een laagsgewijze afwisseling van een dichte en half-open, enkelvoudige korrelstapeling. De A0 - en A1- horizonten in de stuif- en dekzanden bezitten een open tot half-open enkelvoudige korrelstapeling. Alleen in de slijpplaten 886, 890, 846 en 845 (nummering, zie tabel 9.1) in de onderliggende, weinig gesorteerde materialen werd lokaal een half-open of dichte, samengestelde korrelstapeling gekonstateerd.

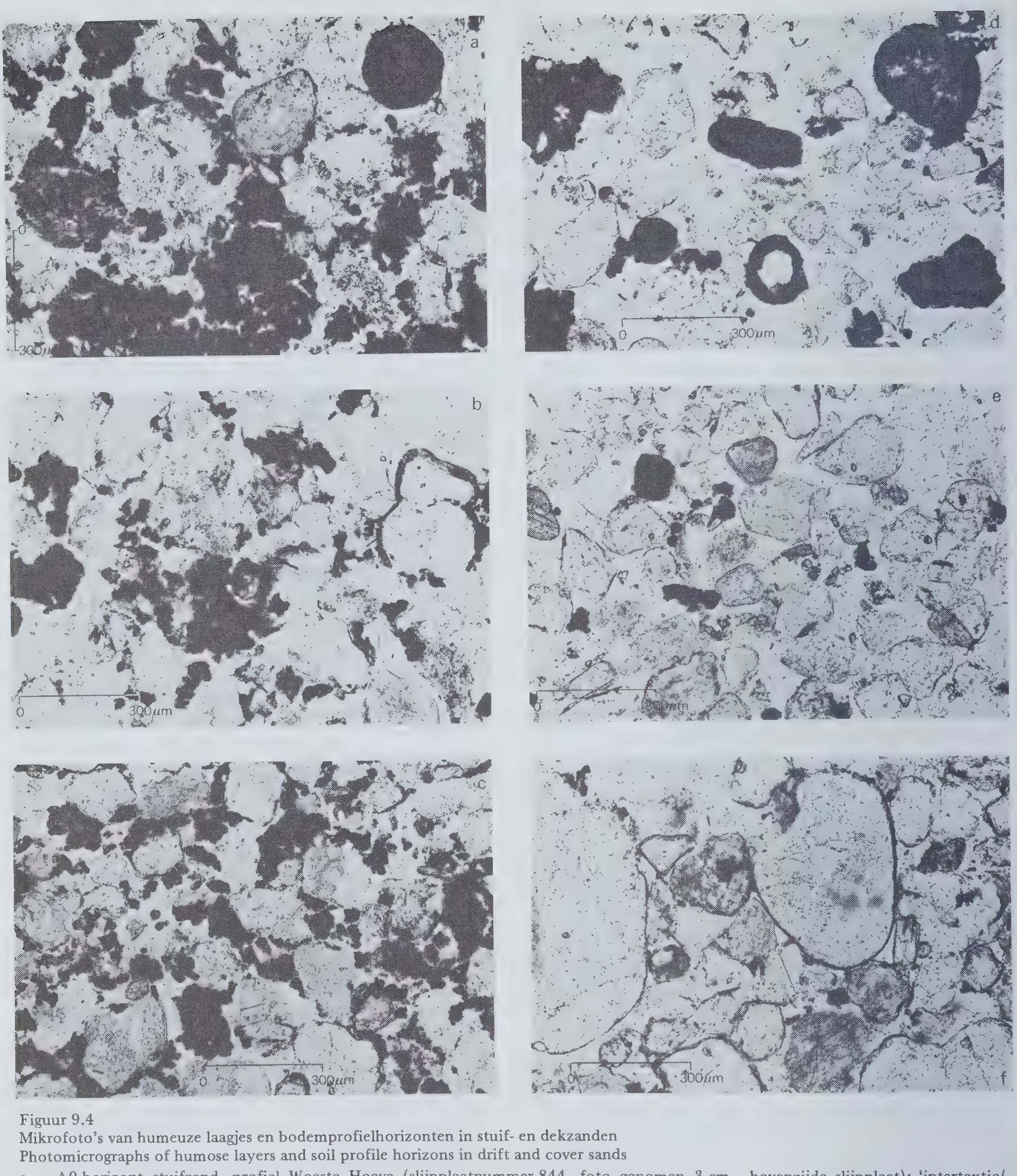
De aanwezige holten tussen de korrels variëren, afhankelijk van korrelgrootte, -stapeling en -sortering, in grootte van overwegend 75-420µm in het profiel Terlet, 50-105µm in het profiel Stroese Zand en van 75-300µm in het profiel Woeste Hoeve. In de niet of weinig door bodemvorming beïnvloede lagen zijn de aanwezige holten overwegend enkelvoudige pakkingsholten. In de A0- en A1-horizonten in stuif- en dekzand zijn ook samengestelde pakkingsholten aanwezig. Qua grootte kunnen de holten omschreven worden als 'medium mesopores' tot 'very fine macropores'.* In de stuifzanden komen slechts weinig meestal < 1 mm dikke 'craze planes' en enkele 'vughs' voor. In de slijpplaten van het profiel Stroese Zand komen enige 1 à 2 cm grote holten (graafgangen) voor.

De mate van korrelgrootte-sortering werd tevens geschat in de slijpplaten (tabel 9.1). Het stuifzand van het profiel Terlet (889, 888 en 887) is slecht tot matig gesorteerd, waarbij in de slijpplaten weinig laagsgewijze verschillen in korrelgrootte en -sortering werden waargenomen. Korrelgrootten van 150-1000µm werden in de dominerende fraktie aangetroffen. Het stuifzand van het profiel Stroese Zand (892 en 891) is goed gesorteerd en vertoont duidelijke laagsgewijze verschillen van enkele korreldikke laagjes, waarvan de dominerende korrelgroottefrakties variëren van 50-75 tot 210-300µm. Het stuifzand van het profiel Woeste Hoeve (844, 843 en 842) is matig gesorteerd, de dominerende korrelgroottefraktie ligt tussen de 75 - 420µm, terwijl daarnaast geringe bijmengingen met materiaal tot 2 à 3 mm aanwezig zijn. Het dekzand (841, 840, 839 en 846) is slecht gesorteerd en bevat materiaal in grootte variërend van 150-3000µm. In tabel 9.1 staat voor iedere slijpplaat de dominerende korrelgroottefraktie vermeld, terwijl soms tussen haakjes een tweede fraktie opgegeven staat, die als 'bijmenging' aanwezig is.

In een aantal slijpplaten is sprake van een duidelijk herkenbare, horizontale of scheve gelaagdheid. Deze gelaagdheid kan zich uiten in laagsgewijze verschillen in kleur, korrelgrootte en of korrelstapeling of in een laagsgewijze koncentratie van humeuze komponenten. Het stuifzand in de profielen Terlet en Stroese Zand vertoont een horizontale respektievelijk scheve gelaagdheid met hellingshoeken variërend van 25-35°. Deze gelaagdheid is in het profiel Terlet voornamelijk herkenbaar aan textuurverschillen tussen 1-10 mm dikke laagjes, en in het profiel Stroese Zand aan veelal uiterst dunne, < 1 mm dikke laagjes waarin humeuze komponenten gekoncentreerd zijn en aan een evenzeer fijne verdeling in laagjes met textuurverschillen (vergelijk paragraaf 5.2). In de mikropodsolhorizonten in de stuifzanden en in de overstoven bodemprofiel-horizonten is de gelaagdheid verstoord of geheel afwezig dankzij homogenisatie. In de slijpplaten is overigens geen korreloriëntatie herkenbaar.

Wat betreft de samenstelling van de skeletkorrels is een onderverdeling gemaakt in (kleurloze) transparante korrels, die veruit in de meerderheid zijn en overwegend uit kwarts bestaan, en in gesteentefragmenten en opake korrels. In de stuifzandlagen werden percentages transparante korrels geteld van 33,5-60%. De als gesteentefragmenten omschreven korrels zijn zwak tot sterk gekleurd, weinig tot niet transparant, en gespikkeld tot donker onder gekruiste

* De gebruikte Engelse termen zijn ontleend aan Brewer (1964) en zijn, om verwarring te voorkomen, niet in het Nederlands vertaald.



Figuur 9.4
Mikrofoto's van humeuze laagjes en bodemprofielhorizonten in stuif- en dekzanden
Photomicrographs of humose layers and soil profile horizons in drift and cover sands

a - A0-horizont stuifzand, profiel Woeste Hoeve (slijpplaatnummer 844, foto genomen 3 cm - bovenzijde slijpplaat); 'intertextic/agglomeroplasmic' S-matrix, aangetaste plantenresten, grote humusfragmenten en samengevloeide moderdeeltjes, afzonderlijke moderbolletjes ca 50µm in diameter, rechts boven humusbal ca 200µm in diameter, open enkelvoudige korrelstapeling
A0 horizon drift sand, profile Woeste Hoeve (slide number 844, position photograph 3 cm below the upper side of the thin section); 'intertextic/agglomeroplasmic' S-matrix, humified plant remains, large humus fragments and welded 'moder'humus particles, individual 'moder spheres' app. 50µm in diameter, upper right-hand side 'humus ball' app. 200µm in diameter, open simple grain packing

b - A1-horizont stuifzand, profiel Woeste Hoeve (844, 9 cm); 'granular/agglomeroplasmic' S-matrix, minder aangetaste plantenresten, humusfragmenten en samengevloeide moderdeeltjes dan in de A0-horizont, diskontinue dunne humushuidjes om de korrels, half-open enkelvoudige korrelstapeling
A1 horizon drift sand, profile Woeste Hoeve (844, 9 cm); 'granular/agglomeroplasmic' S-matrix, fewer humified plant remains, humus fragments and welded 'moder'humus particles than in the A0 horizon, discontinuous thin organic grain cutans, half-open simple grain packing

c - Aan-horizont bouwlanddek, profiel Stroese Zand (890, 11 cm); 'intertextic/agglomeroplasmic' S-matrix, de holten zijn grotendeels opgevuld met humusfragmenten en samengevloeide moderdeeltjes, half-open enkelvoudige korrelstapeling
Aan horizon 'Plaggen' soil, profile Stroese Zand (890, 11 cm); 'intertextic/agglomeroplasmic' S-matrix, the voids are largely

filled by humus fragments and welded 'moder'humus particles, half-open simple grain packing

d - enkele cm's dik humeus laagje in C-materiaal stuifzand, profiel Stroese Zand (891, 10 cm); ('banded inclined') 'granular' S-matrix, grote geïsoleerd voorkomende (disperse) humusfragmenten, humusballen en rechts boven sclerotia, open tot half-open enkelvoudige korrelstapeling

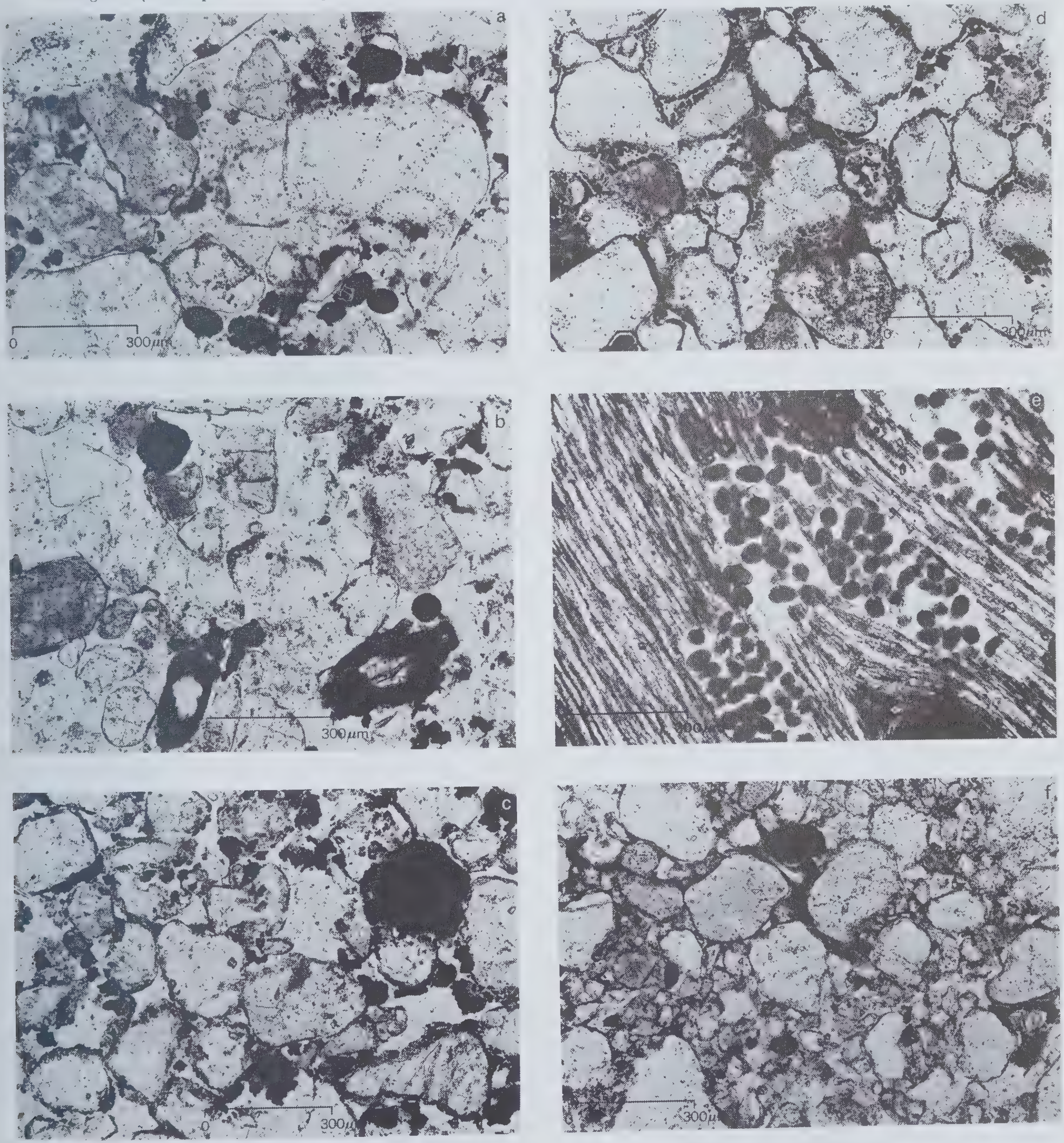
humose layer of a few cm's thick in a drift sand C horizon, profile Stroese Zand (891, 10 cm); ('banded inclined') 'granular' S-matrix, large isolated (dispersed) humus fragments, 'humus balls' and in the upper right-hand side sclerotia, open to half-open simple grain packing

e - idem als d (891, 4 cm); enkele kleine humusfragmenten en humusballen, kontinue dunne humus-ijzerhuidjes om de korrels, half-open enkelvoudige korrelstapeling

idem as d (891, 4 cm); some small humus fragments and 'humus balls', continuous thin ferric organic grain cutans, half-open simple grain packing

f - matig humeus, grofzandig laagje in C-materiaal stuifzand, profiel Terlet (888, 13 cm); 'granular/chlamydomorphic' S-matrix, enkele kleine humusfragmenten, kontinue relatief dikke humushuidjes om de, soms zeer grote, stuifzandkorrels (huidjes tijdens eolisch transport bewaard gebleven), dichte samengestelde korrelstapeling

moderately humose, coarse sand layer in a drift sand C horizon, profile Terlet (888, 13 cm); 'granular/chlamydomorphic' S-matrix, some small humus fragments, continuous relatively thick organic cutans around the, in some cases very large, drift sand grains (cutans preserved during eolian transportation), dense compound grain packing



Figuur 9.5
Mikrofoto's van humeuze laagjes en bodemprofielhorizonten in stuif- en dekzanden
Photomicrographs of humose layers and soil profile horizons in drift and cover sands

a - onderzijde mikropodsol in stuifzand, profiel Woeste Hoeve (slijpplaatnummer 843, foto genomen 5 cm - bovenzijde slijpplaat); 'granular/agglomeroplasmic' S-matrix, kleine humusfragmenten, midden onder moderbollen 75-100µm in diameter, dunne diskontinue humus-ijzerhuidjes om de korrels, half-open enkelvoudige korrelstapeling
lower side micropodzol in drift sand, profile Woeste Hoeve (slide number 843, position photograph 5 cm below the upper side of the thin section); 'granular/agglomeroplasmic' S-matrix, small humus fragments, in the central lower side 'moder-spheres' 75-100µm in diameter, thin discontinuous ferric organic grain cutans, half-open simple grain packing

b - idem als a; 'granular' S-matrix, enkele grote plantenresten, humusballen en kleine humusfragmenten, dunne diskontinue humus-ijzerhuidjes om de korrels, half-open enkelvoudige korrelstapeling
idem as a; 'granular' S-matrix, some large plant remains, 'humus balls' and small humus fragments, thin discontinuous ferric organic grain cutans, half-open simple grain packing

c - A22-horizont in dekzand, profiel Woeste Hoeve (840, 4 cm); overwegend 'agglomeroplasmic' S-matrix, rechts boven humusbal ca 250µm in diameter, holten voor een belangrijk deel opgevuld met humusfragmenten en samengevloeide moderdeeltjes, dikke kontinue of gebroken humushuidjes om de korrels, dichte enkelvoudige korrelstapeling
A22 horizon in cover sand, profile Woeste Hoeve (840, 4 cm); predominantly 'agglomeroplasmic' S-matrix, upper right-hand side 'humus ball' app. 250µm in diameter, voids filled for a large part by humus fragments and welded 'moder'humus particles, thick continuous or broken organic grain cutans, dense simple grain packing

d - B22-horizont in dekzand, profiel Woeste Hoeve (839, 8 cm); 'granular/chlamydomorphic' S-matrix, dikke kontinue of gebroken humushuidjes om de korrels met soms 'brugstrukturen', dichte enkelvoudige korrelstapeling
B22 horizon in cover sand, profile Woeste Hoeve (839, 8 cm); 'granular/chlamydomorphic' S-matrix, thick continuous or broken organic grain cutans sometimes with intergranular braces, dense simple grain packing

e - A0-horizont in stuifzand, profiel Woeste Hoeve (844, 7 cm); detail van een grote plantenrest met excrementen ca 50µm in diameter
A0 horizon in drift sand, profile Woeste Hoeve (844, 7 cm); detail of a large plant fragment with organic fecal pellets app. 50µm in diameter

f - Laag van Usselo in dekzand, profiel Woeste Hoeve (846, 8 cm); 'phyric/chlamydomorphic' S-matrix, midden boven humusbal ca 150µm in diameter, relatief dikke klei-ijzerhuidjes om de korrels met soms 'brugstrukturen', holten tussen de grote korrels opgevuld met korrels $<$ 75µm, dichte samengestelde korrelstapeling
Usselo Soil in cover sand, profile Woeste Hoeve (846, 8 cm); 'phyric/chlamydomorphic' S-matrix, central upper side 'humus ball' app. 150µm in diameter, relatively thick ferri-argillans around the grains sometimes with intergranular braces, voids in between the large grains filled with grains $<$ 75µm, dense compound grain packing

nikols; percentages van 1-7% werden geteld. Werkelijk opake korrels komen slechts sporadisch voor; overwegend $<$ 0,5%. Hiertoe zijn tevens gerekend de houtskooldeeltjes, die met name in de mikropodsol in Woeste Hoeve (844, A0-horizont) zijn waargenomen. De opake deeltjes bestaande uit humeus materiaal zijn hier niet toe gerekend.

De onderlinge rangschikking van skeletkorrels, plasma en holten in de diverse horizonten en lagen is omschreven met de benamingen voor de diverse wijzen van S-matrix volgens de terminologie van Brewer (1964, 1974), Babel (1975) en Eswaran et al. (1972). Het stuifzand van de profielen Terlet en Stroese Zand bezit een 'granular' S-matrix tot 'chlamydomorphic' (of 'covered') S-matrix in die delen waar meestal $<$ 16µm dikke, kontinue humus (ijzer)huiden om de korrels voorkomen. De A1-horizonten in het onderliggende materiaal worden gekenmerkt door een 'agglomeroplasmic' tot 'intertextic' S-matrix afhankelijk van het feit of de holten tussen de korrels ten dele, respektievelijk vrijwel geheel opgevuld zijn door organische bestanddelen. Daar waar veel aaneengegroeide, oorspronkelijk eivormige excrementen voorkomen, kan ook gesproken worden van een 'dropping fabric'. De A0-, A1- en C-horizonten in het profiel Woeste Hoeve bezitten, wederom afhankelijk van de hoeveelheid en verdeling van het organische materiaal, een overwegend 'intertextic', respektievelijk 'agglomeroplasmic', respektievelijk 'granular' S-matrix. In de B2ir.-horizont in dekzand, waar de holten geheel opgevuld zijn met ijzer en humus, is sprake van een 'porphyroskelic' S-matrix. Als bijzonderheid kan vermeld worden dat de slijpplaten 846 en 845 gekenmerkt worden door een 'phyric/chlamydomorphic' S-matrix, hetgeen inhoudt dat de holten tussen de grotere korrels vrijwel geheel opgevuld zijn met silt en uiterst fijne zanddeeltjes (dichte samengestelde korrelstapeling), terwijl zowel om de grovere als de fijnere deeltjes klei-ijzerhuidjes aanwezig zijn.* Deze lagen worden in het veld gekenmerkt door een zeer vaste konsistentie. Afhankelijk van de toename van overwegend uit humeus materiaal bestaand plasma kan de volgende sequentie in typen S-matrix herkend worden: 'granular' - 'chlamydomorphic' - 'agglomeroplasmic' - 'intertextic' - 'porphyroskelic'. In het veld wordt deze sequentie gekarakteriseerd door een toenemende mate van konsistentie (Eswaran et al., 1972). Indien bij de benaming van een laag of horizont twee typen S-matrix vermeld zijn, is de eerst genoemde dominant.

In de slijpplaten zijn slechts sporadisch 'ferric of ferri-argillic nodules' en 'glaebules' aangetroffen, terwijl de aanwezige huiden overwegend tot de '(ferri) organans' en slechts zelden tot '(sepic) ferri-argillans' gerekend moesten worden. De percentages skeletkorrels, organische bestanddelen, holten en de grootteverdeling van deze holten zijn van dezelfde orde van grootte als de percentages, die bepaald zijn door Sevink

* Het zou overigens eenvoudiger zijn in het geval van matig tot goed gesorteerde zanden te spreken van een 'simple granular' S-matrix en in het geval van slecht gesorteerde zanden van een 'compound granular' S-matrix. Indien zeker is dat de zeer fijne deeltjes tussen de grovere skeletkorrels hier door inspoeling zijn terecht gekomen zou de term 'phyric' S-matrix gebruikt kunnen worden.

et al. (1970) in overstoven podsolen in het stuifzandgebied van het Lutterzand, en door Eswaran et al. (1972). Een aantal van de in deze paragraaf besproken textuur- en struktuurkenmerken wordt geïllustreerd in de figuren 9.4 en 9.5.

9.4.2 Organische bestanddelen

De organische bestanddelen, waarvan de volume-percentages door punttellingen zijn bepaald, zijn als volgt onderverdeeld:

a. Niet of weinig gehumificeerde plantenresten, waarvan de weefselstruktuur nog herkenbaar is; de tot maximaal 1 à 2 cm grote plantenresten kunnen uiteraard sterk in grootte en vorm variëren.
b. Humusbrokjes, die zowel in grootte als vorm sterk variëren en die overwegend uit sterk gehumificeerde, opake plantenresten en of uit disperse humus bestaan; deze brokjes bezitten meestal onregelmatige vormen; de humusbrokjes komen in alle grootten voor tot ca 600μm.
c. Humusballen, die gekenmerkt worden door hun opake karakter, soms perfekte bolvormigheid en hun afmetingen, die min of meer overeenkomen met de meest voorkomende skeletkorrelgrootten; deze humusballen worden opgevat als korrels van humeus materiaal, die tegelijkertijd met de minerale bestanddelen zijn afgezet (allochtoon); de humusballen variëren in grootte van 75-300μm. Deze humusballen, die door Jongerius & Marsman (1971) benoemd zijn als 'bollen', worden ook door hen opgevat als de afgeronde restanten van sterk gehumificeerde plantendelen.
d. Moderbollen, bestaande uit geïsoleerde of in trosjes voorkomende, meestal min of meer eivormige excrementen van bodemdiertjes of samengevloeide aggregaten van moderhumus; de afzonderlijke moderbollen zijn meestal tussen 50-105μm groot, maar zijn in enkele gevallen ook aangetroffen tot ca 600μm.
e. Huidjes om de korrels overwegend bestaande uit organisch materiaal; de huidjes die de korreloppervlakken geheel (kontinu) of ten dele (diskontinu) bedekken, zijn meestal < 10μm dik, maar in uitzonderingsgevallen komen dikten tot 50μm voor. Speciaal de dikkere huidjes zijn vaak gebroken door radiale krimpscheurtjes en ze vormen vaak brugstrukturen tussen de korrels. De huidjes met radiale krimpscheurtjes zijn karakteristiek voor ingespoelde disperse humus.
f. Bolvormige lichaampjes of fragmenten hiervan met herkenbare celstruktuur, die op grond van vergelijking met soortgelijke vormen, die door Van der Drift (1964) en Bal (1973) beschreven zijn, opgevat worden als sclerotia. Het betreft hier sclerotia van *Cenococcum geophilum* (Van Geel, 1972, 1976). Deze zwarte bolvormige lichaampjes, die soms moeilijk onderscheiden kunnen worden van de eerder genoemde humusballen, hebben meestal een diameter tussen 210-300μm, maar in enkele gevallen zijn sclerotia tot ca 2 mm groot aangetroffen. Deze sclerotia komen in vele typen bodems voor onder geheel verschillende ecologische kondities (Meyer, 1964; Van Geel, 1976). De voorkomende organische bestanddelen worden geïllustreerd in de figuren 9.4 en 9.5.

De duidelijk herkenbare moderbollen en -aggregaten zijn in alle gevallen, met uitzondering van in de slijpplaten 840 en 839, in de minderheid ten opzichte van de humusbrokjes. De humusballen komen laagsgewijs in humeuze laagjes in stuifzand of sporadisch verspreid voor en bereiken in volumeprocenten, waarvoor of de gehele plaat of een groot deel daarvan geteld is, zelden waarden van > 0,5%. Aangezien het gemaakte onderscheid tussen humusbrokjes, humusballen en moderbollen in sommige gevallen onzeker is, zijn deze in tabel 9.1 bij de opgave in volumeprocenten samengenomen onder de aanduiding humusfragmenten (dispers en moder). Om toch enige indruk te geven van de verdeling van deze komponenten over de verschillende horizonten en lagen, is de aanwezigheid van de afzonderlijke humuskomponenten aangegeven in tabel 9.1 met de onderscheidingen vrij veel, weinig en afwezig.

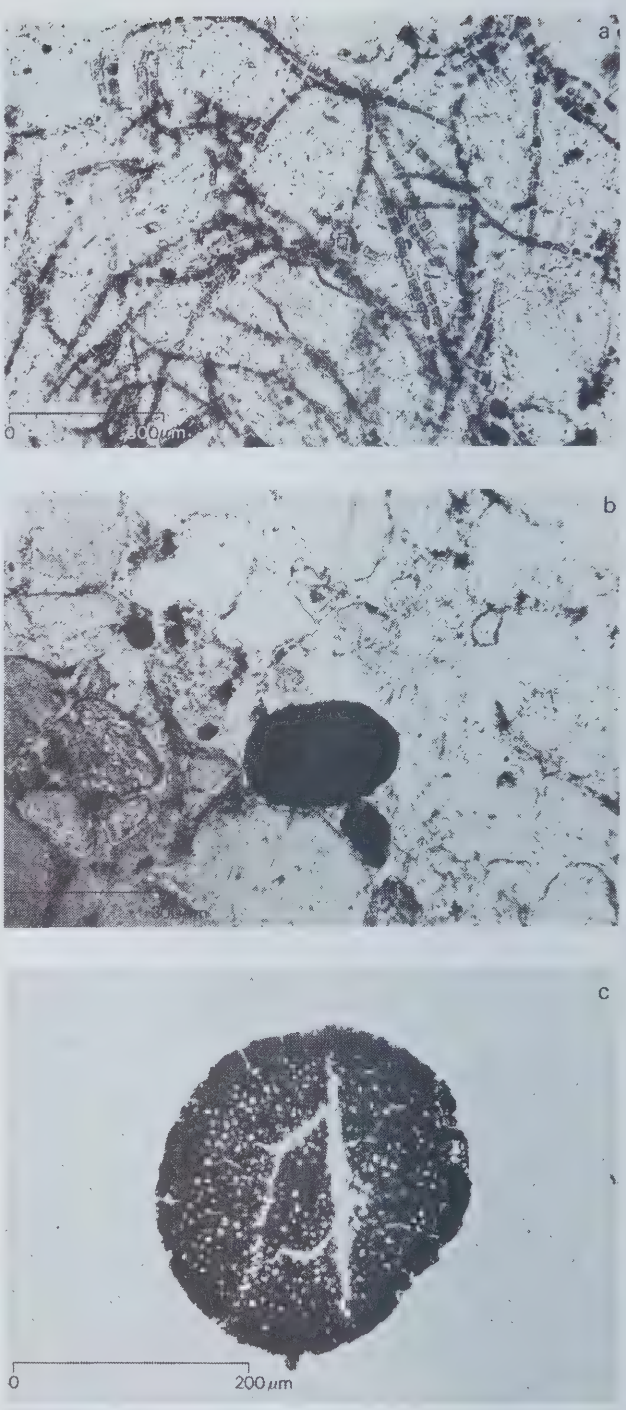
Van der Drift (1964) bespreekt de bodemfauna en de diverse typen excrementen in slijpplaten afkomstig van de bovenste 15 cm in kaal stuifzand en in door mossen (*Polytrichum piliferum*), grassen (*Festuca ovina*), heide (*Calluna vulgaris*) en vliegdennen (*Pinus silvestris*) vastgelegd stuifzand. Het bleek echter ondoenlijk in de hier beschreven slijpplaten op louter morfologische gronden de verschillende humuskomponenten in alle gevallen te benoemen. Vooral het onderscheid tussen disperse humusbrokjes en aangetaste moder-excrementen is op vorm niet mogelijk. De kleur, vorm en grootte van excrementen hangt af van het type en de grootte van de dieren en de aard van het gebruikte voedsel. In kaal stuifzand is geen bodemfauna aanwezig. De dikte van het humeuze pakket, waarin de excrementen voorkomen, neemt toe in de volgorde van de hiervoor genoemde vegetatie-opeenvolging. Volgens Bal (1968, 1973) kunnen excrementen bovendien in alle grootte-klassen voorkomen.

In de mikropodsolen in stuifzand werden gehalten aan humusfragmenten bereikt van

10-20,5% en tevens percentages van 0,5-1,5% huiden, overwegend bestaande uit amorfe humus. In de humeuze stuifzandlaagjes zijn percentages humusfragmenten aangetroffen van 5,5-11% en wederom geringe percentages dunne, veelal diskontinue (organische) huiden van 1-4%. In de overstoven A1-horizonten werden percentages van 29,5-33% respektievelijk 0,5-1,5% bereikt, terwijl in de hieronder voorkomende horizonten en lagen in het profiel Woeste Hoeve geringe percentages (< 5%) humusfragmenten voorkomen en daarentegen hoge percentages (6,5-10%) huiden, die echter voor een belangrijk deel uit ingespoelde klei en ijzer bestaan naast amorfe humus. In alle slijpplaten van de profielen Terlet en Stroese Zand werden lage percentages (< 1,5%) plantenresten gevonden. Hogere percentages (4,5-9,5%) plantenresten werden aangetroffen in het profiel Woeste Hoeve in de A0-horizont in stuifzand, in een overstoven mikropodsol in stuifzand, en in de A1-horizont in dekzand. Ter vergelijking wordt vermeld dat in de horizonten van haarpodsolen gewichtspercentages organische stof bereikt worden in de orde van grootte: A1 - 7,5 à 12,5%, A2 - 1 à 2%, B2 - 4 à 7% en B3/C - 0,5%.

Onderzocht is in hoeverre de restanten van de aan de oppervlakte in aktieve stuifzandgebieden voorkomende, ca 1-3 mm dikke algenlaagjes nog herkenbaar zijn in de slijpplaten van humeuze laagjes in stuifzand. Aanleiding hiertoe was vooral de vraag of de bolvormige lichaampjes met herkenbare celstruktuur, die zo nu en dan verspreid in de slijpplaten werden aangetroffen, mogelijk afkomstig zijn van deze laagjes. In het aktieve stuifzandgebied direkt ten westen van het Otterlose Bos werden hiertoe enige monsters genomen aan de oppervlakte voor mikromorfologisch onderzoek. Slijpplaten werden vervaardigd van horizontale doorsneden van de hier aan de oppervlakte voorkomende 1 à 2 mm dikke algenlaagjes op 0,5 en 1 mm onder de oppervlakte en van de A0-horizont van de mikropodsol in door algen, bladmossen en grassen vastgelegd stuifzand op diepten van 0,5 en 1,5 cm onder de oppervlakte.

Op een diepte van 0,5 mm onder de oppervlakte blijkt het algenlaagje vrijwel uitsluitend te bestaan uit een vlechtwerk van draadwieren met een diameter van 10 à 20µm. (figuur 9.6a). De extreme mikroklimatologische kondities aan de oppervlakte van het alleen door algen bedekte aktieve stuifzand en het praktisch ontbreken van organisch materiaal verhinderen de ontwikkeling van een bodemfauna (Van der Drift, 1964). Op grotere diepte in stuifzand worden overigens van overstoven algenlaagjes geen herkenbare delen teruggevonden. Direkt onder dit algenlaagje (ca 1 mm onder de oppervlakte)



Figuur 9.6
Mikrofoto's van organische bestanddelen in stuifzand
Photomicrographs of organic components in drift sand

a - algenlaagje in stuifzand, lokatie Otterlose Bos, slijpplaat van een horizontale snede ca 0,5 mm - m.v.; ineengevlochten netwerk van draadwieren
layer of algae in drift sand, location Otterlose Bos, slide of a horizontal section app. 0.5 mm below the surface; intertwined network of filamentous algae

b - A0-horizont in stuifzand, lokatie Otterlose Bos, slijpplaat van een horizontale snede ca 1 mm - m.v.; 200-300µm grote, afgeronde, door de wind getransporteerde humusbal en kleinere humusfragmenten
A0 horizon in drift sand, location Otterlose Bos, slide of a horizontal section app. 1 mm below the surface; rounded 'humus ball', 200-300µm in diameter, transported by wind, and smaller humus fragments

c - detail bolvormig lichaam (*Cenococcum geophilum*), diameter

ca 250μm (vervaardigd van door Dr. B. van Geel ter beschikking gesteld materiaal)
detail of sphere-like particle (fungal resting body, *Cenococcum geophilum*), diameter app. 250μm (prepared from material made available by Dr. B. van Geel)

werden in het stuifzand naast fragmenten van draadwieren en kleine humusfragmenten veelvuldig goed afgeronde humusballen gevonden van dezelfde orde van grootte als de minerale korrels (figuur 9.6b). Aangezien deze humusballen op deze plaats onmogelijk het gevolg kunnen zijn van bodemvorming, moeten zij tezamen met de minerale korrels door de wind aangevoerd zijn en daarbij hun afgeronde vorm verkregen hebben. Zoals eerder besproken is, worden deze allochtone humusballen op diverse diepten in stuifzand aangetroffen.

In de horizontale doorsneden door de A0-horizont van een mikropodsol werden de volgende organische bestanddelen aangetroffen: weinig of niet verteerde plantenresten waaronder veel restanten van bladmossen en enkele dennenaalden, veel tot ca 1000μm grote excrementen van makro-arthropoden, diverse typen kleinere excrementen (Van der Drift, 1964), kleine onregelmatig begrensde humusfragmenten en enkele in groepjes voorkomende, 0,5-2 mm grote, bolvormige lichaampjes met een celstruktuur (figuur 9.6c). Deze bolvormige lichaampjes (sclerotia) worden eveneens op diverse diepten in stuifzand aangetroffen. De algenlaagjes, die als eerste het stuifzand kunnen vastleggen, zijn in vochtige toestand groen en onder droge kondities grijszwart en veelal gebroken in naar boven omgekrulde plaatjes (figuur 9.7). Ook *Polytrichum*, dat een vroege kolonisator van stuifzand is en zeer resistent is tegen overstuiving, vormt in droge toestand een harde korst (Stoutjesdijk, 1959). Van der Drift (1964), die de spaarzame bodemfauna in stuifzanden onderzocht, vermeldt dat de aan de oppervlakte voorkomende algenlaagjes voornamelijk bestaan uit *Zygogonium ericetorum* en *Prasiola crispa.* Als bijzonderheid kan overigens in dit verband vermeld worden, dat een sterke kolonisatie van deze, als een dunne korst voorkomende algen op de overigens kale stuifzandoppervlakken, zoals De Ploey (1976) ook waarnam, een afname van de infiltratiekapaciteit kan veroorzaken en daardoor de afspoeling van water over de oppervlakte kan bevorderen. Hierdoor kunnen op kale stuifzandhellingen verschijnselen van 'rainwash (sheet- en rillwash)' optreden, die op hun beurt weer de aanzet kunnen geven tot deflatie.

Figuur 9.7
Door droogte gebroken algenkorst, voorkomend in een uitgestoven laagte in het aktieve stuifzandgebied van het Otterlose Bos. Op de uitgestoven laagte komt een tot ca 1 m dik, opgestoven stuifzandpakket voor, dat wordt vastgelegd door algen, bladmossen en grassen (opname juni 1976)
Dry broken crust of algae at the surface of a 'blown-out' part of the active drift sand area in the Otterlose Bos. On top of the 'blown-out' cover sand a layer of 'blown-up' drift sand with a thickness of app. 1 m occurs. This material becomes stabilized by algae, mosses and grasses (photo June 1976)

9.5 Interpretatie

Bij de podsolisatie van de mineralogisch arme, hoge, droge zandgronden vindt naast de vorming van moder en inspoeling daarvan, tevens inspoeling van aangetaste plantenresten en disperse humus plaats. Bovendien kan de moderhumus geheel overgaan in disperse humus (Jongerius, 1957; Righi & De Coninck, 1974). Deze humusinspoeling en omzetting in zwarte disperse humus is volgens Zonneveld (1965) des te extremer naarmate de vegetatie moeilijker te mineraliseren strooisel bevat, zoals van *Calluna* en *Erica*. Deze diverse processen treden wat intensiteit aangaat verschillend in tijd op (De Coninck et al., 1974).

In bijna alle humeuze lagen en horizonten van de onderzochte profielen komen alle onderscheiden humuskomponenten, zij het in onderling verschillende getalsverhoudingen voor. Bovendien is het in sommige gevallen ondoenlijk alle humuskomponenten zonder twijfel te benoemen. Daarbij komt nog het feit, dat aan het voorkomen van bepaalde humuskomponenten in humeuze lagen wat betreft de bodemkundige interpretatie een verschillende betekenis gehecht

kan worden. Gezien het hiervoor gestelde, is het vooral de vorm- en grootteverdeling en de rangschikking van de humuskomponenten tussen de skeletkorrels tezamen met additionele gegevens over gelaagdheid, korrelstapeling etc., die interpretatie aangaande de wijze van vorming van de humeuze lagen mogelijk maakt. De aanname dat alleen een laagsgewijze koncentratie van humusballen wijst op de vorming van (allochtone) humeuze lagen door instuiven van humeus materiaal (Jongerius & Marsman, 1971), lijkt voorbarig. Er zijn geen aanwijzingen dat windtransport over korte afstand persé de afronding van humusdeeltjes moet bewerkstelligen. Het sporadisch voorkomen van humusfragmenten van allerlei aard en vorm op grote diepte in stuifzandlagen, waarin geen sprake is van bodemvorming, kan erop wijzen dat de aanwezigheid van ook deze fragmenten het gevolg is van lokale instuiving. De verschijnselen in de drie onderzochte profielen worden afzonderlijk geïnterpreteerd.

Terlet

De humeuze stuifzandlaagjes in dit profiel bevatten humusfragmenten bestaande uit zowel sterk gehumificeerde plantenresten als disperse humus als moderaggregaatjes. In de humeuze laagjes komen slechts sporadisch humusballen voor en weinig gehumificeerde plantenresten. Op grond van het feit, dat al deze humuskomponenten verspreid door het gehele materiaal voorkomen, ook in de tussenliggende niet-humeuze lagen – zij het daar in veel geringere aantallen – wordt gekonkludeerd, dat dit profiel het resultaat is van een intermitterende, langzame overstuiving met dunne zandlaagjes, waarbij de vegetatie kon meegroeien met de overstuiving. De aard en verdeling van de humuskomponenten in deze humeuze laagjes is min of meer identiek aan die in de aanwezige mikropodsol in dit stuifzandprofiel en in de A1-horizont van de overstoven haarpodsolgrond. Deze A1-horizont bevat uiteraard hoge percentages humuskomponenten en wordt gekenmerkt door het voorkomen van grote, opake, sterk gehumificeerde plantenresten, weinig of niet gehumificeerde plantenresten en het verspreid voorkomen van enkele grote (> 600μm) aangetaste excrementen en 210-300μm grote sclerotia. Het voorkomen van de laagsgewijze afwisseling van matig tot zeer grofzandig, fijn grindhoudend stuifzand, de matige tot slechte sortering, de loodzandachtige kleur van het zand, en de aanwezigheid van de overgeërfde, kontinue, grotendeels organische huidjes om de korrels wijst erop, dat het stuifzand afkomstig is van de door deflatie aangetaste bovengrond van het fluvio-glaciale materiaal uit de direkte omgeving. Aangezien dit materiaal slecht geschikt is voor verstuiving, zal de uitstuiving van dit materiaal relatief snel gestopt zijn.

Stroese Zand

De humeuze stuifzandlaagjes in dit profiel bevatten relatief veel 50-420μm grote opake humusbrokjes, humusballen en sclerotia (fragmenten) en weinig kleine moderdeeltjes en -aggregaten. De humuskomponenten zijn voornamelijk gekoncentreerd in enkele korreldikke tot enkele millimeters dikke laagjes. Deze laagjes bestaan in sommige gevallen uit koncentraties van humusballen en in andere gevallen uit koncentraties van overwegend grote of kleine opake humusbrokjes. In de niet-humeuze lagen komen verspreid kleine humuskomponenten voor in zeer kleine aantallen. De meeste korrels worden omgeven door dunne, diskontinue humus-ijzerhuidjes, die gezien hun voorkomen in het gehele stuifzandpakket en hun vaste binding aan de korreloppervlakken beschouwd worden als een overgeërfd verschijnsel uit het dekzand (Sevink et al., 1970). Volgens De Coninck & Laruelle (1964) representeren deze huidjes het eerste stadium van bodemvorming in het dekzand. Niet of weinig gehumificeerde plantenresten komen slechts sporadisch voor.

Gezien de fijne laminatie van dit stuifzand, ook wat betreft de voorkomende humuskomponenten en het voorkomen van laagjes, bijna uitsluitend bestaande uit humusballen of grote opake humusbrokjes, zal een groot deel van de dunne humeuze laagjes ontstaan zijn door instuiving van humeus (allochtoon) materiaal afkomstig uit materiaal van de bovengrond in de direkte omgeving. Het voor stuifzanden uitzonderlijk fijne materiaal – uiterst tot zeer fijn stuifzand en de hoge leemgehaltes – wijst eveneens op een korte transportweg. Bij een langere transportweg koncentreren stuifzanden zich rondom de mediaan in de matig fijne zandfraktie. De enkele, 50-300μm grote 'ferric nodules' en 'papules' die aangetroffen zijn in humeuze laagjes worden tevens beschouwd als allochtoon materiaal.

De tot enkele centimeters dikke humeuze laagjes zullen het resultaat zijn van een intermitterende, snelle overstuiving met dikke zandlaagjes, waardoor de vegetatie verstikt en gefossiliseerd werd tot grote of kleine, opake, sterk gehumificeerde plantenresten. In de gevallen waar overwegend kleine humusbrokjes voorkomen, is waarschijnlijk sprake van een overstoven mossen- en grassenvegetatie, terwijl in de gevallen waar overwegend grote humusbrokjes voorkomen sprake zal zijn van een overstoven heidevegetatie (Jongerius & Marsman, 1971).

In de dikke A1-horizont van het overstoven profiel is een groot deel van de holten

geheel opgevuld met organisch materiaal, bestaande uit weinig of niet en sterk gehumificeerde plantenresten, enkele humusballen en talloze, meestal ca 50µm grote moderdeeltjes en grotere samengevloeide moderaggregaten. Op de korreloppervlakken komen soms diskontinue, amorfe humushuidjes voor. Op grond van de voorkomende verdeling van humuskomponenten, de grote dikte van de A1-horizont en de ligging van het profiel aan de rand van het stuifzandgebied van het Stroese Zand wordt dit bodemprofiel opgevat als een overstoven kamppodsolgrond, die ontstaan is door een in de aanvang zeer langzame overstuiving (sterke vermodering), zoals beschreven is door Marsman (1971).

Woeste Hoeve

De A0- en A1-horizonten in het stuifzand bevatten hoge percentages grote, weinig of niet aangetaste plantenresten, opake sterk gehumificeerde plantenresten, vooral in de A0-horizont veel al dan niet samengevloeide moderdeeltjes, humusballen en enkele houtskooldeeltjes. Enkele grote plantenresten vertonen holtevraat. Sommige korrels worden omgeven door dunne, diskontinue humus-ijzerhuidjes. Deze verdeling van de humuskomponenten en de nog ten dele aanwezige gelaagdheid en de voorkomende afwisseling van humeuze en loodzandachtige laagjes duidt erop dat de bovenste 21 cm van dit profiel bestaat uit twee of meer opeenvolgende mikropodsolen in stuifzand. De daaronder voorkomende, geelbruin tot grijs gevlekte horizont van 21-42 cm diepte bevat, verspreid door het gehele materiaal, grote weinig of niet gehumificeerde plantenresten, opake humusbrokjes, moderbolletjes, humusballen en enkele sclerotia. Op de korreloppervlakken komen dunne, diskontinue humus-ijzerhuidjes voor. Deze horizont representeert de beginnende B-horizontvorming in stuifzand. De gevlekte kleur ('rijksdaalderstruktuur') en het relatief hoge percentage plantenresten is het gevolg van aanwezige plantenwortels. Tussen 42-90 cm diepte komt gelaagd, uiterst tot zeer humusarm, 'schoon' stuifzand voor. Het tussen 90-104 cm diepte gelegen, gelaagde, bruine stuifzand bevat de volgende komponenten: enkele weinig of niet gehumificeerde plantenresten, enkele humusballen, veel kleine opake humusbrokjes vaak gebonden aan de korreloppervlakken ('stippenstruktuur', volgens Jongerius, 1957), korrels met dikke klei-ijzerhuidjes, en enkele grote fragmenten van een B2ir.-horizont ('iron pan') waarvan de holten volledig met ijzer zijn opgevuld. Deze verschijnselen wijzen erop, dat hier sprake is van een stuifzandlaag afkomstig van een door deflatie aangetaste B-horizont in dekzand in de direkte omgeving. Van 104-118 cm diepte komt een gelaagd grijs stuifzandpakket voor bestaande uit verstoven loodzand afgewisseld met enkele humeuze laagjes. Zoals dus reeds bij de makromorfologische beschrijving van dit profiel werd gesuggereerd, is hier inderdaad sprake van een herkenbare verstuiving van bodemprofielmateriaal en 'omkering van het bodemprofiel' (C- op B- op A2-materiaal).

De mikromorfologische verschijnselen in de A1-, A2-, B2h-, B22- en B3-horizonten van de onderliggende haarpodsolgrond in dekzand kunnen afgelezen worden uit tabel 9.1, ter vergelijking met de verschijnselen in de besproken stuifzandlagen en -horizonten. Opvallend is de aanwezigheid van vrij veel sclerotia in de A1-horizont, die door verstuiving in het stuifzand terecht kunnen komen. Tevens wordt gewezen op de hoge percentages huiden in de A2- en B2-horizonten, ten dele bestaande uit amorfe humus en ten dele uit klei-ijzerhuiden. De huiden zijn relatief dik, vaak gebroken en vormen soms brugstrukturen op de kontaktpunten van de korrels. Op de grens van de B2h- en B22-horizont ligt een verkitte B2ir.-horizont, waarin alle poriën volledig gevuld zijn door (humus)ijzerhuiden. De vorming van deze ijzerinspoelingsband op de grens van de kompakte, door humus en ijzer verkitte B2h-horizont en de minder kompakte, minder (klei)ijzerhuiden bevattende B22-horizont wordt ondermeer besproken door De Coninck & Laruelle (1964), Zonneveld (1965) en De Coninck et al. (1974). Als bijzonderheid wordt de sterke inspoeling van klei, ijzer en siltdeeltjes, die de aanwezige holten grotendeels opvullen, vermeld in de Laag van Usselo in dekzand en in het onderliggende lemige preglaciale materiaal.

10.1 Inleiding

Bij gebrek aan voldoende nauwkeurige (pre)historische gegevens is palynologisch onderzoek gekombineerd met absolute dateringen (C-14 bepalingen) een mogelijkheid om het aanvangstijdstip en de duur van de stuifzandsedimentatie te bepalen. Afgezien van incidentele palynologische onderzoekingen van stuifzanden en van door stuifzand begraven dateerbare materialen is over de fasering in de sedimentatie geen systematisch onderzoek verricht, in tegenstelling tot soortgelijk onderzoek in kustduinen (Jelgersma & van Regteren Altena, 1969; Jelgersma et al., 1970). Om het aanvangstijdstip van stuifzandakkumulatie, overeenkomend met het moment van aantasting van het bestaande oppervlak door verstuiving elders, te bepalen zijn monsters voor pollenonderzoek genomen van het bovenste deel van overstoven veenlagen en bodemprofielhorizonten en van het onderste, meestal voldoende organisch materiaal bevattende deel van stuifzandpakketten. Om een indruk te krijgen van de snelheid waarmee de stuifzandakkumulatie verliep, zijn de humeuze laagjes, in het gehele stuifzandpakket voorkomend, in daarvoor geschikte profielen bemonsterd.

Gezien de moeilijkheden om op grond van materiaaleigenschappen en of bodemprofielontwikkeling in alle gevallen een onderscheid in het veld te maken tussen stuifzanden en dekzanden, is het mogelijk dat bij dit onderzoek relatief vroege, wat omvang betreft geringe, verstuivingsfasen over het hoofd zijn gezien.

Voor het archivalisch onderzoek naar het optreden van zandverstuivingen en de talloze, kennelijk voor een belangrijk deel ontoereikende maatregelen ter beteugeling van de zandverstuivingen wordt verwezen naar de volgende literatuur: Hesselink (1920, 1926), Van Veen (1930), Slicher van Bath (1960, 1964), Brandt-Boomstra & Meyman (1971) en Wartena (1972, 1974/75). De oudste geschriften waarin incidentele gegevens over zandverstuivingen vermeld staan, stammen uit de tijd omstreeks 1400 na Chr., hetgeen voor de datering van de aanvang van het optreden van verstuivingen niet toereikend is. Bovendien kan men pas archivalische vermeldingen verwachten wanneer de stuifzanden reeds een zekere uitbreiding gekregen hebben en op enigerlei wijze als hinderlijk ondervonden werden.

Alle C-14 bepalingen worden vermeld in C-14 jaren B.P. (B.P. = vóór 1950 na Chr.). Korrektie van de konventionele C-14 ouderdom van de onderzochte monsters voor de bepaling van de historische ouderdom levert voor de tijd van 500-2000 B.P., waarbinnen alle waarden vallen, slechts geringe verschillen op. Indien rekening gehouden wordt met de algemene trend volgens de gegevens van Suess (1973) dan blijkt, dat het verschil op 500 B.P. nihil is en dat op 800 B.P. de historische ouderdom 50 jaar lager is dan de konventionele C-14 ouderdom, terwijl in de tijd tot 2000 B.P. de historische ouderdom maximaal 100 jaar lager is dan de konventionele C-14 ouderdom. Geyh et al. (1971) en Scharpenzeel (1971) bespreken de betrekkelijke waarde van C-14 dateringen van organisch materiaal in al dan niet begraven bodemprofielhorizonten. C-14 metingen van overstoven A1-horizonten geven een indikatie van de 'mean residence time' van het organisch materiaal ten tijde van de aanvang van de overstuiving plus de tijd die sindsdien verlopen is. De verkregen waarden benaderen de werkelijke ouderdom van het moment van overstuiving naarmate de 'mean residence time' laag is en de tijd die sindsdien verlopen is relatief lang. De 'mean residence time' komt tot stand doordat de vegetatie steeds organisch materiaal produceert, dat door bodemvormende processen (inspoeling, wortelgroei en bodemfauna) in de A-horizont verwerkt wordt. Hierdoor vindt tijdens bodemvorming een konstante menging plaats en toevoeging van jonger materiaal.

De C-14 dateringen van de bovenste delen van overstoven veentjes geven een maximale ouderdom aan van het aanvangsmoment van overstuiving. De betrouwbaarheid van deze dateringen is uiteraard groter dan die van overstoven bodemprofiel-horizonten. Mogelijk geringe inspoelingen van jonger organisch materiaal uit het onderste deel van de stuifzandpakketten zullen de bepaalde ouderdommen niet wezenlijk beïnvloed hebben.

De pollenmonsters zijn overwegend in profielkuilen verkregen met behulp van tot 50 cm lange en 2 cm brede metalen bakken en in enkele gevallen met behulp van een lepelboor. De monsters zijn gekookt met KOH gedurende 10 minuten, gezeefd (maaswijdte 0,28 cm) en hebben een behandeling gekregen met acetolyse bij een temperatuur van 98°C gedurende 10 minuten. Pollen en andere organische bestanddelen werden gescheiden van de minerale delen met behulp van een bromoform-alkohol mengsel met een soortelijk gewicht 2. De pollen werden ingebed in een gelatine-glycerine mengsel zonder kleuring.

10.2 Pollenprofiel in stuif- en dekzanden

De interpretatie van pollendiagrammen vervaardigd van materiaal van humeuze stuif-

zandlaagjes en het bovenste deel van overstoven bodemprofielen in dekzand wordt bemoeilijkt door het feit, dat de wijze van ontstaan van het pollenprofiel (vertikale verdeling van pollen) in een bodem een geheel andere is dan in veen. Tevens vertegenwoordigt het pollenprofiel in een bodem een meer lokale vegetatie ten opzichte van een meer regionale vegetatie in veen. Bovendien is de mate van (on)bestendigheid van het pollen geheel anders in bodems dan in veen (Dimbleby, 1961; Havinga, 1967). Over de ontstaanswijze van het pollenprofiel in zandige bodems, dat het meest uitvoerig door Havinga (1962, 1964a en b, 1968 en 1974) bestudeerd is, bestaat echter nog geen overeenstemming. Pollenanalytisch onderzoek van bodems is vooral vèrricht van podsolen in dekzanden, aangezien pollendiagrammen van deze meer of minder zure, zandige bodems een redelijke informatie blijken te kunnen geven over de vegetatie-ontwikkeling in de direkte omgeving. De belangrijkste processen die naast de aard en samenstelling van de pollenregen een rol spelen bij het ontstaan van het pollenprofiel in een zandige bodem zijn: a. de menging van pollen in de bodem tengevolge van biologische aktiviteit, b. de inspoeling van pollen door perkolatie-water, c. synsedimentaire afzetting van pollen en eolisch materiaal, d. differentiële destruktie van pollenkorrels en e. toevallige overrepresentatie. Dankzij de relatief geringe biologische aktiviteit in podsolen vindt een weinig diepe en langzame migratie van pollen plaats en bovendien is de lage pH in podsolen gunstig voor de pollenkonservering (Guillet, 1970/71). Bij gebrek aan biologische aktiviteit is de infiltratie van pollen in stuifzand van weinig betekenis. Pollen ondergaan over het algemeen een veel sterkere differentiële korrosie in bodems dan in veen. Havinga (1964a) benadrukt de sterke, selektieve korrosie van *Quercus*pollen in zandige bodems, hetgeen in vele pollendiagrammen mede de (ogenschijnlijke) dominantie van *Alnus* en Ericaceae (*Calluna*) teweegbrengt. Bij de interpretatie van de diagrammen moet dus bedacht worden, dat de mate van representativiteit van afzonderlijke pollenkurves in veen geheel anders kan zijn dan in bodems. Zo zijn Ericaceae in bodems over het algemeen sterker vertegenwoordigd dan in veen (Pertsch, 1970), evenals *Pinus* en *Betula*. Volgens Havinga (1962) zou de menging in een bodem, die aan podsolering onderhevig is, voortdurend ondieper plaatsvinden, waardoor het oudere pollen in de dieper en het jongere pollen in de ondieper aanwezige bodemlagen gekoncentreerd wordt ('retrogressieve biologische bodemaktiviteit'). Op deze wijze kan een pollenprofiel in een zandige bodem ontstaan, dat min of meer vergelijkbaar is met dat in veen, met dien verstande dat de sterkere pollenkorrosie in de bodem en de sterkere vertegenwoordiging in de bodem van de standplaatsvegetatie tot belangrijke verschillen leidt.

Wat betreft de ouderdom van het podsolisatieproces wordt algemeen aangenomen, dat dit proces vanaf de overgang Atlanticum-Subboreaal intensief heeft kunnen plaatsvinden. De door Zonneveld (1965) beschreven, met elkaar samenhangende verschijnselen van podsolering, aanwezigheid van heidevelden en optreden van zandverstuivingen reeds tijdens het Atlanticum kunnen wat ouderdom aangaat, gezien de betrekkelijke waarde van C-14-dateringen van overstoven bodemprofielhorizonten en het bepalen van gemiddelde inspoelingssnelheden van pollen, in twijfel getrokken worden.

De pollenspektra in dekzand zeggen meestal niets over het tijdstip van sedimentatie van het materiaal in tegenstelling tot de pollenspektra in humeuze stuifzandlaagjes, die wel een indruk kunnen geven van de ouderdom van de stuifzandakkumulatie. In stuifzanden zal een deel van het pollen afkomstig kunnen zijn van de A- en B-horizonten van het door verstuiving aangetaste dekzandoppervlak in de direkte omgeving. Tijdens transport echter zal het pollen van verschillende diepten gemengd worden en tijdens afzetting tezamen sedimenteren met de normale pollenregen. Aangezien de pollenkoncentratie in het bovenste gedeelte van het bodemprofiel, waarin relatief jonge spektra voorkomen, enorm veel groter is dan dieper in het profiel met eventueel oudere spektra, zullen de mengspektra die bij verstuiving ontstaan een relatief jonge indruk maken. Het oudere pollen zal de datering van het stuifzand dan ook nauwelijks beïnvloeden. In theorie zou bij zeer langzame stuifzandakkumulatie, al of niet gepaard gaande met de vorming van overstoven A0- of A1-horizonten (vergelijk hoofdstuk 9), de invloed van de normale pollenregen belangrijk kunnen zijn en bij snelle stuifzandakkumulatie en de vorming van humeuze stuifzandlaagjes door aanvoer van humeus bodemprofielmateriaal zou de invloed van omgewerkt ouder pollen belangrijk kunnen zijn. Het is echter niet waarschijnlijk dat hiervan in pollendiagrammen veel te merken zal zijn. De in enkele gevallen optredende 'omkering van het bodemprofiel' door verstuiving gaat niet samen met een 'omkering van ouderdom'.

10.3 Rekonstruktie van het subatlantische pollenprofiel

10.3.1 Literatuuroverzicht

Voor het literatuuronderzoek omtrent de genese en ouderdom van stuifzanden in diverse delen van Nederland en in beperkte mate in België wordt verwezen naar hoofdstuk 3 en fi-

guur 3.6. Hier wordt uitsluitend ingegaan op het palynologisch onderzoek van venen en windafzettingen, voorzover relevant voor de in dit hoofdstuk te bespreken pollendiagrammen.

Op grond van palynologische gegevens van het Subatlanticum van diverse veenprofielen in Nederland van Brouwer (1947), Waterbolk (1954), Polak (1959, 1968), Havinga (1962), Riezebos & Slotboom (1970), Wijmstra & Schreve-Brinkman (1971), Janssen & Ten Hove (1971), Janssen (1972), De Gans (1974) en Van Geel (1976) kan een globale rekonstruktie van de pollenprofielontwikkeling voor deze tijd gegeven worden en kunnen de tijdstippen van immigratie van kultuurgewassen en -indikatoren hieronder samengevat worden. De gebruikte indeling in pollenzones is ontleend aan Firbas (1949).

Bij de overgang van het Subboreaal naar het Subatlanticum (zone IX) nemen ondermeer Gramineae en Ericaceae sterk toe en laten de meeste diagrammen een intensieve menselijke invloed op de vegetatie zien. Dit kan verband houden met het optreden van landbouwgronden van het Celtic field-type vanaf ca 500 v. Chr. (Van Geel, 1972; Brongers, 1976). Als belangrijkste perioden van menselijke beïnvloeding van de vegetatie, herkenbaar in pollendiagrammen worden overigens in publikaties meestal vermeld: het begin van het Subatlanticum (Vroege IJzertijd), de Romeinse tijd, de 8e-10e eeuw en vanaf de Late Middeleeuwen.

Alnus dat gewoonlijk dominant — overgerepresenteerd — is in subatlantische profielen, vertoont vaak cyclische wisselingen in de kurve. Wijmstra et al. (1971) en Van Geel (1972) vermelden in dit verband 80- en 30-jarige cycli. *Fagus* dat voorkomt vanaf het begin van het Subboreaal, breidt zich duidelijk uit vanaf ca 900 v. Chr., bereikt een eerste gering maximum kort voor de Romeinse tijd en een minimum kort na het begin van de jaartelling en breidt zich opnieuw sterker uit vanaf ca 250 na Chr. *Fagus* bereikt volgens Heim (1966), Janssen & Ten Hove (1971) en Janssen (1972) wederom maxima omstreeks 500 na Chr., omstreeks 700 na Chr. en omstreeks 950 na Chr. Er bestaat geen overeenstemming over of de uitbreidingen van de beuk, die een voorkeur heeft voor rijkere, vochthoudende gronden, speciaal tijdens vochtiger perioden — eventueel samenvallend met transgressiefasen (Van Zeist, 1959) — of tijdens drogere perioden plaats vonden (Slotboom, 1963). In diverse publikaties wordt gewezen op een zekere periodiciteit in het optreden van minima en maxima in de *Fagus*-kurve (Persch, 1950; Slotboom, 1963; Daniëls, 1964). Een negatieve korrelatie van *Alnus* en *Corylus* met *Fagus* is in de pollendiagrammen aantoonbaar. Ook in en na de Late Middeleeuwen zijn *Fagus*-maxima bekend en gedateerd. De uitbreiding van *Fagus* bij het begin van het Subatlanticum valt vaak samen met een permanente afname van *Corylus,* een eerste optreden van *Fraxinus* en een beëindiging van de kontinue *Tilia*-kurve. *Corylus* bereikt volgens Van Geel (1976) in de eerste twee eeuwen na het begin van de jaartelling een relatief maximum en neemt vervolgens in betekenis af. Omstreeks de Romeinse tijd neemt *Betula* over het algemeen iets toe evenals *Carpinus,* dat als kontinue kurve gaat optreden, terwijl *Tilia* en *Ulmus* nog verder afnemen.

Het eerste regelmatige optreden van *Secale* wordt meestal gedateerd in de Romeinse tijd. Het neemt overigens pas in de Middeleeuwen sterk toe; Dricot (1961) en Riezebos & Slotboom (1974) nemen in dit verband een toename aan vanaf de 13e of 14e eeuw. *Centaurea cyanus* gekombineerd met *Secale* en *Fagopyrum esculentum* worden in diagrammen meestal teruggevonden vanaf 1300 à 1400 na Chr. (Mikkelsen, 1952, 1954). Slicher van Bath (1960) meent, dat vanaf het begin van de 14e eeuw boekweitverbouw optreedt. Pertsch (1970) gebruikt *Fagopyrum* als indikator voor de maximale ouderdom van bepaalde Noordwest-Duitse stuifzanden; evenzo zijn Nederlandse stuifzanden gedateerd met behulp van het al dan niet voorkomen van *Fagopyrum.* De boekweitbrandkultuur vond overigens pas in de 17e maar vooral in de 18e en 19e eeuw op tamelijk grote schaal in hoogveengebieden plaats (Westhof et al., 1973). Het is in de loop van deze eeuw vrijwel geheel verdwenen. *Centaurea cyanus* en *Fagopyrum* worden sporadisch ook wel eerder, vanaf de Bronstijd aangetroffen (Polak, 1959; Munaut, 1967; Janssen & Ten Hove, 1971; Janssen, 1972). *Cannabis* en waarschijnlijk ook *Humulus* komen in diagrammen voor vanaf ca 500 na Chr., terwijl ze evenals *Linum* tussen 800 en 1200 na Chr. vaak een top bereiken (Godwin, 1967).

Na de Middeleeuwen komen sporadisch pollen voor van exoten als *Abies, Castania* en *Juglans,* die ook over grote afstanden getransporteerd kunnen zijn. *Castania sativa* en *Juglans* kunnen reeds in de Romeinse tijd ingevoerd zijn (Heim, 1966; Westhoff et al., 1973). Eerst aan het einde van de vorige eeuw nemen *Pinus* en soms *Picea* toe. *Pinus sylvestris* bereikt gedurende het gehele Subatlanticum slechts bij uitzondering waarden van meer dan 5 à 10%. Deze percentages kunnen voor een belangrijk deel pollen representeren, dat over grote afstanden getransporteerd is. Incidentele maxima in de *Pinus*-kurve in veen wijzen op een meer open vegetatie in de direkte omgeving.

Omstreeks 900 v. Chr. bij het begin van zone IX kort voor de overgang naar het Subat-

lanticum vangt een tijdvak aan met een relatief vochtig (oceanisch) klimaat, hetgeen onderbroken wordt door een droger tijdvak tussen ca 300 v. Chr. en 50 na Chr. (Van Geel, 1976). Deze klimaatschommeling wordt door verschillende auteurs wat datering betreft globaal bevestigd, zij het dat de aanvang van een belangrijk vochtiger periode na het begin van de jaartelling vaak 2 à 3 eeuwen later gelegd wordt. In de loop van het Subatlanticum resulteerde de toenemende vochtigheid tenslotte op diverse plaatsen in de vorming van veen in lokale depressies door voornamelijk *Sphagnum*-soorten. Ook Waterbolk (1954) noemt reeds de post-Romeinse tijd als een vochtiger periode gunstig voor jonge veenmosveenvorming. Maxima in de *Sphagnum*-kurve treden overigens vaak daar op, waar veranderingen in de veenstratigrafie optreden (Janssen & Ten Hove, 1971).

Waterbolk (1954), Van der Poel (1960/61) en Iversen (1949, 1973) bespreken de pollensequentie, die optreedt bij ontginning van bos ('landnam'), zoals op de arme zandgronden plaats vond. De boompollen waaronder *Quercus, Tilia, Ulmus* en *Fraxinus* nemen over het algemeen af, terwijl heide, grassen en granen en soms ook lichtminnende boomsoorten als *Betula* en *Corylus* in diagrammen toenemen. Van de vele kruiden, die verband houden met het in kultuur nemen van de grond, kunnen genoemd worden Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, Compositae, Ranunculaceae, *Artemisia, Plantago, Rumex* en *Urtica*.

Ericaceae, Gramineae en kultuurgewassen vertonen vaak min of meer gelijktijdige uitbreidingen. Gramineae hebben kennelijk een belangrijke rol gespeeld overal waar het bos verdwenen en nog geen gesloten heideveld was ontstaan. Een minimum hoeveelheid van 5% Gramineae van het aantal Ericaceae is normaal voor heidevelden. Een beperking van de betekenis van ondermeer de heidekurve bij veenonderzoek is gelegen in het feit, dat de rol van de Ericaceae, die deel uitmaakten van het *Sphagnetum* nooit uitgeschakeld kan worden (Pertsch, 1970). Een uitdroging van het veen kan een soortgelijke invloed hebben op de heidekurve als een uitbreiding van de heidevelden in de omgeving (Waterbolk, 1954).

10.3.2 Presentatie en zonering van de pollendiagrammen

Bij de presentatie van de pollendiagrammen is gekozen voor totaaldiagrammen (Faegri & Iversen, 1966) en voor een volgende rangschikking van pollentypen*: *Alnus, Corylus, Betula* en *Pinus*, Ericaceae en de overige NAP tezamen zijn in het linker deel van de diagrammen getekend. De Ericaceae zijn in de pollensom genomen, niettegenstaande het hierboven vermelde bezwaar, vanwege de overweging dat de toe- of afnames van de heide als veruit dominerende kruidenvegetatie ten opzichte van het totaal aan boompollen een belangrijke rol spelen bij het optreden van zandverstuivingen. Vooral daar waar de Ericaceae-percentages zeer hoge waarden bereiken brengt dit echter het bezwaar met zich mee, dat de wisselingen in de overige bomen- en kruidenkurves afgevlakt worden. Vervolgens zijn *Fagus, Carpinus* en *Quercus* afzonderlijk weergegeven vanwege hun belang voor de datering van de subzones in het Subatlanticum. Dit geldt eveneens, maar in mindere mate, voor *Tilia, Ulmus en Fraxinus*. De overige boompollen, die voor een deel exoten vertegenwoordigen en slechts lage waarden bereiken, zijn vervolgens in alfabetische volgorde geplaatst. Voor de diagrammen vervaardigd van overwegend bodemprofielmateriaal zijn alle kruiden in de pollensom genomen en in alfabetische volgorde geplaatst, vanwege het feit dat deze diagrammen voornamelijk de lokale vegetatie van de monsternameplaats representeren. Voor de diagrammen vervaardigd van voor een groot deel uit veen bestaand materiaal zijn de kruidenpollen van de natte lokale vegetatie, in of aan de rand van het veen, buiten de pollensom gehouden en achter de pollensom in alfabetische volgorde geplaatst. Deze diagrammen representeren een meer regionale vegetatie. De sporen van varens, fungi, wieren, etc. zijn altijd buiten de pollensom gehouden en als laatste eveneens in alfabetische volgorde geplaatst.

Op grond van de hiervoor besproken literatuur, het pollenbeeld van de vervaardigde pollendiagrammen en de verrichte absolute dateringen is de volgende indeling in zones en subzones voor het Subatlanticum opgesteld*:

Xb = 1850 na Chr. - heden:
toename *Pinus*; afname Ericaceae

Xa2 = 1250 - 1850 na Chr.:
toename *Tilia*; middenin deze subzone maxima van Cerealia, Gramineae en Cyperaceae; toename *Cannabis, Fagopyrum, Humulus* en andere kultuurbegeleiders

Xa1 = 1000 - 1250 na Chr.:
afname *Fagus, Carpinus* en *Quercus*; sterke toename Ericaceae tot maximum; soms relatief hoge waarden Cerealia; soms toename *Rumex*; eerste optreden *Centaurea* en *Fagopyrum*; soms maximum *Cannabis*

IX3 = 800 - 1000 na Chr.:
maxima *Fagus, Carpinus* en *Quercus*; *Tilia, Ulmus* en *Fraxinus* zijn meestal als kontinue kurve verdwenen; geleidelijke toename Ericaceae

*In overleg met Dr. R.T. Slotboom.

IX2 = 100 à 250-800 na Chr.:
geleidelijke toename *Fagus*, *Carpinus* en *Quercus*; soms *Betula* iets hoger dan *Corylus*; maximum *Sphagnum*; afname of gelijkblijven Ericaceae; eerste optreden van Cerealia; in eerste deel van deze subzone soms maximum Gramineae
IXI = 700 v. Chr. - 100 à 250 na Chr.:
relatief lage *Fagus*-waarden; begin kontinue kurve *Carpinus*; afname *Tilia* aan het einde van deze subzone; soms afname *Alnus* en *Corylus*; toename Ericaceae

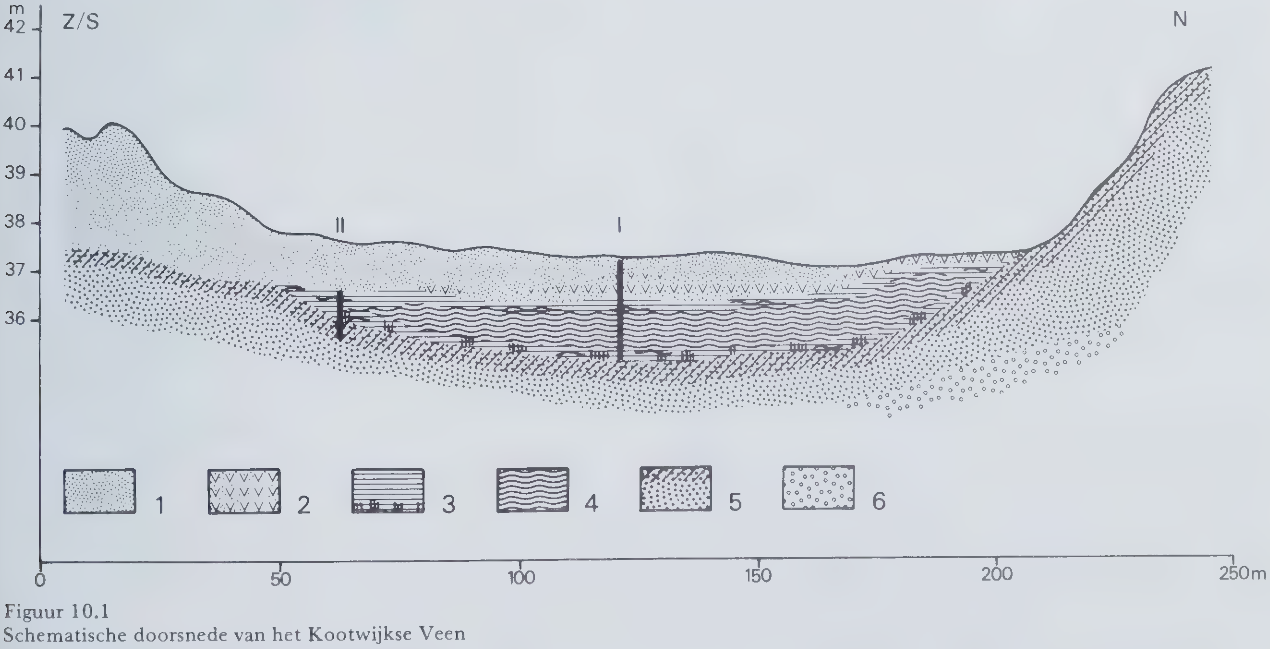
In de gevallen waar de subzonegrenzen met één jaartal zijn aangegeven moet gezien de in de inleiding vermelde verschillen in konventionele C-14 ouderdom en historische ouderdom met een marge van maximaal 100 jaar gerekend worden. De tijdsynchroniteit van de subzones in de diverse diagrammen is minder zeker dan die van de zones. De korrelatie tussen de subzones van de diverse diagrammen wordt bemoeilijkt door verschillen in lokatie-omstandigheden, in pollenpreservering en in representativiteit van de overwegend regionale en lokale vegetatie in veen-, respektievelijk bodemprofielen. Om deze redenen moet dan ook benadrukt worden, dat deze indeling in subzones alleen opgesteld is om de lokale pollenprofielontwikkeling op de Veluwe te beschrijven. Desalniettemin zijn er enkele opvallende overeenkomsten te zien met de indelingen in subzones van het Subatlanticum door Jelgersma et al., (1970), Janssen & Ten Hove (1971) en Janssen (1972). De pollendiagrammen zijn voorzien van een (sub)zonering in biostratigrafische eenheden mede om de bespreking van de pollenprofiel-ontwikkeling en de korrelatie van de diagrammen onderling te vergemakkelijken.

10.4 Beschrijving en interpretatie van de pollendiagrammen

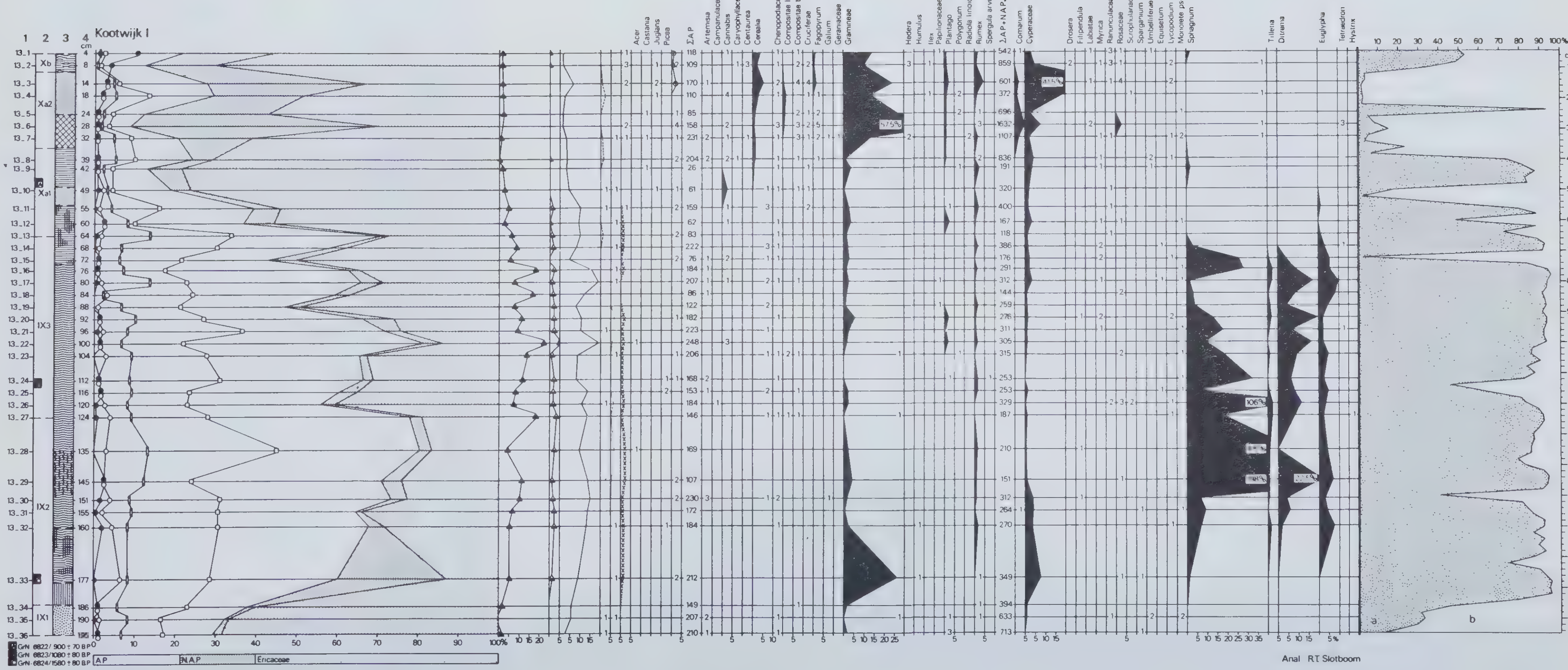
10.4.1 Overstoven venen

Kootwijkse Veen

Eén van de weinige plaatsen op de Veluwe, waar door stuifzand overstoven veen van behoorlijke dikte en afmetingen voorkomt, is het Kootwijkse Veen aan de oostelijke begrenzing van het stuifzandgebied van het Stroese Zand ten noordoosten van Kootwijk. Dit op ca 38 m + NAP gelegen veen, dat een grootste lengte heeft van ca 600 m en een breedte van ca 150 m wordt aan de noordzijde begrensd door een dekzandrug op grindhoudend materiaal. Aan de zuidzijde wordt het veen begrensd door een geaccidenteerde stuifzandgordel overwegend op het niet door verstuiving aangetaste haarpodsolprofiel in dekzand. In de zuidelijke randzone van het veen ligt een 0-1 m dikke stuifzandwig op het veen (figuur 10.1). In het veen komen talloze min of meer ronde gaten met een diameter van enkele meters voor ten gevolge van (sub)recente individuele vervening. In deze kuilen treedt thans opnieuw veenvorming op. De vegetatie van het grootste deel van het Kootwijkse Veen bestaat uit veenmos, wollegras, struik- en dopheide, terwijl de noordelijke en oostelijke randzone in grasland gelegd is.



Figuur 10.1
Schematische doorsnede van het Kootwijkse Veen
Schematic cross-section of the Kootwijkse Veen
I, II - lokaties pollendiagrammen/locations pollen diagrams Kootwijk I, II
1 - stuifzand/drift sand, 2 - venig zand/peaty sand, 3 - *Carex*veen/*Carex* peat, *Eriophorum*, 4 - *Sphagnum*veen/*Sphagnum* peat, 5 - dekzand met vrijwel ondoorlatend humuspodsolprofiel/cover sand with an impermeable humus podzol profile, 6 -grindhoudend materiaal/gravelly material



Figuur 10.2
Pollendiagram Kootwijk I (legenda zie/legend see appendix 8)
a - % gewichtsverlies bij 950° C/% loss of weight at 950° C
b - % rest minerale delen/ignition residue in %

Van een tweetal boorkernen worden hier de pollendiagrammen besproken. Het diagram Kootwijk I (figuur 10.2) is afkomstig van het centrum van het veen, terwijl het diagram Kootwijk II (figuur 10.3) vervaardigd is van materiaal, dat op korte afstand van de zuidrand van het veengebied verzameld is. Bij het diagram Kootwijk I behoort de volgende beschrijving van de materiaalopeenvolging:

0 - 10 cm:
recent *Carex-Sphagnum*veen

10 - 24 cm:
geelbruin, leemarm, matig humusarm, matig fijn stuifzand

24 - 35 cm:
grijszwart, zandhoudend, meerbodem-achtig materiaal

35 - 48 cm:
*Carex*veen met enkele *Eriophorum* resten, in de bovenste centimeters komt een bijmenging met stuifzand voor

48 - 54 cm:
grijs, leemarm, matig humusarm tot matig humeus, matig fijn stuifzand

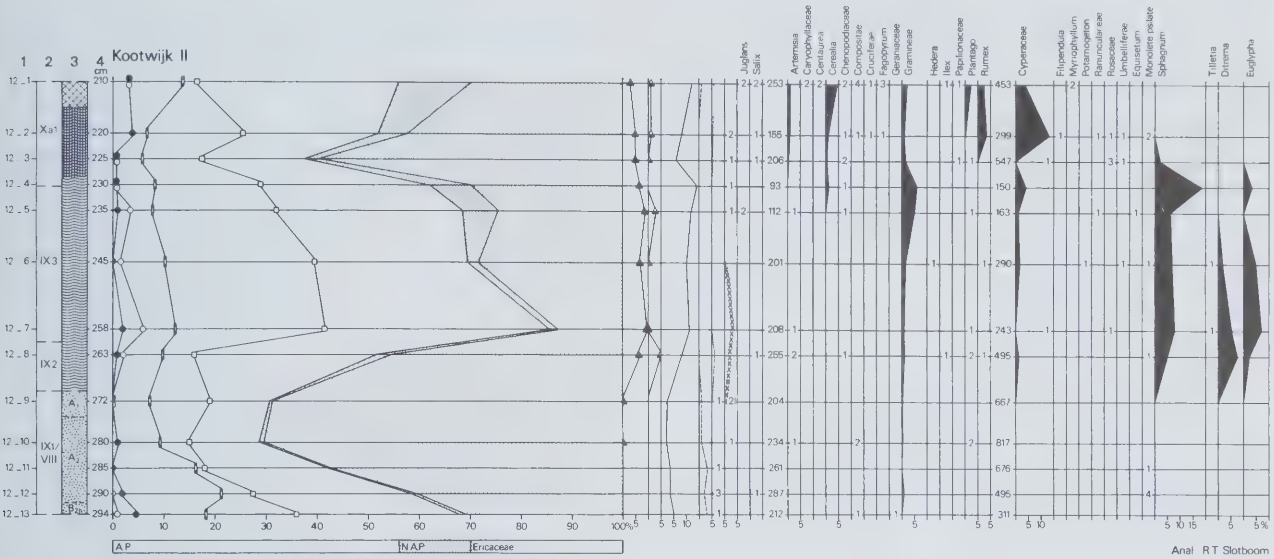
53 - 73 cm:
*Carex-Eriophorum*veen

73 - 160 cm:
*Sphagnum*veen, in de onderste 20 centimeters komen veel resten van watermos voor

160 - 178 cm:
*Sphagnum*veen met resten van *Carex* en *Eriophorum*

178 - 185 cm:
*Eriophorum*veen

> 185 cm:
zwart, leemarm, humusrijk, matig fijn zand, naar onderen toe sterk verkit materiaal



Figuur 10.3
Pollendiagram Kootwijk II

Van dit profiel is tevens een gloeidiagram vervaardigd. Hiervoor is het percentage gewichtsverlies bepaald na gloeien van het materiaal tot 950°C.

De gloeigewichtsverlieskurve is bepaald teneinde na te gaan op welke dieptes hoeveelheden stuifzand ingestoven zijn in het veen en tevens om te bepalen of mogelijk gedurende de gehele periode van veengroei een geringe bijmenging met zand is opgetreden. Dit laatste zou wijzen op zeer lokale verstuivingen tijdens de gehele periode van veengroei.

Van Zinderen Bakker (1948) vermeldt namelijk bij de beschrijving van veenprofielen op de Veluwe, dat gelijkmatige bijmengingen met zand wijzen op het optreden van lokale zandverstuivingen tijdens de gehele Holoceen. Afgezien van de uiteraard hoge percentages minerale delen van 10-38 cm (stuifzand en meerbodem-achtig materiaal), 48-54 cm (stuifzandlaagje) en vanaf 185 cm diepte (het onderliggende dekzand) komen bijmengingen met zand voor, mogelijk ten gevolge van verstuiving, op dieptes van 72, 114 en 150 cm. Voor het overige heeft het veen een asrest van 5-15%.

Om na te gaan of de restpercentages minerale delen tussen 5-15% van het oligotrofe veen ‘normaal’ zijn, d.w.z. dat de invloed van gelijkmatige instuiving van zand uitgesloten kan worden, zijn de percentages asrest van soortgelijk veen bepaald in een veengebied, waar in de wijde omgeving geen mogelijke leverancier van stuifzand aanwezig is. Hiertoe is de asrest door gloeien tot 950°C bepaald van veenmosveen en zeggeveen op diepten variërend van 40-120 cm - m.v. in waardveengronden in het veengebied tussen Eemnes en Bunschoten. In dit veen werden

gloeiresten van 9-18% aangetroffen, hetgeen dus in dezelfde orde van grootte is als de basiswaarden van de gloeiresten in het Kootwijkse Veen. Gelijksoortige onderzoekingen van gloeigewichtsverlieskurven van ondermeer *Sphagnum*venen, zijn die van Soveri (1948), Bahnson (1973) en Van Geel (1976). De laatste vond in het Engbertdijksveen in Oost-Overijssel asresten variërend van 2-18%. Soveri (1948), die de samenstelling van asresten en de faktoren bespreekt, die de asresthoeveelheden bepalen, vermeldt aspercentages van diverse oligotrofe veensoorten variërend van 1,8-7,5%. Bahnson (1973), die overwegend lage asresten (< 2%) in *Sphagnum*-venen vond, meent een verband te kunnen leggen tussen pieken van 5 tot ca 30% in de gloeikurven en het optreden van lokale, pre-romeinse en laat-middeleeuwse verstuivingen van akkers in de nabijheid van het veen. Op grond van de hierboven vermelde gegevens wordt het optreden van stuifzand in het Kootwijkse Veen alleen in verband gebracht met de grote pieken (15- > 95%) in de gloeikurve.

Op grond van de C-14 analyses van het veen (GrN-6822, 900 ± 70 B.P.; GrN-6823, 1080 ± 80 B.P.; GrN-6824, 1580 ± 80 B.P.) en de gegevens van de gloeigewichtsverlieskurve van het profiel Kootwijk I en aannemende dat de dikte van het veenpakket per tijdseenheid geleidelijk toeneemt van onderen naar boven (van ca 10 cm/100 jaar tot ca 40cm/100 jaar), kunnen in dit profiel de volgende verstuivingsfasen mogelijk onderkend worden: (1) in de eerste helft van de 7e eeuw, (2) in het midden van de 9e eeuw, (3) aan het einde van de 10e eeuw, (4) in de eerste helft van de 11e eeuw en (5) de definitieve overstuiving vanaf de aanvang van de 12e eeuw. De gemiddelde waarde van de aangroei van het totale veenpakket bedraagt 1,1 à 1,8 mm/jaar, hetgeen relatief veel is (Aaby & Tauber, 1975). Alhoewel verondersteld kan worden dat deze korte perioden waarin zandtransport heeft plaatsgevonden van niet meer dan lokale betekenis zullen zijn, is het denkbaar dat er een relatie bestaat met de ontwikkeling van de bewoning in de slechts drie kilometer hiervan verwijderde nederzetting, die thans begraven ligt onder het Kootwijkse Zand ten zuiden van Kerkendel. In de tussenliggende perioden is geen sprake van enige bijmenging met stuifzand in het veen.

Deze dateringen van de zandverstuivingen zijn redelijk in overeenstemming te brengen met de voorlopige gegevens over de stadia van ontwikkeling van de vroeg-middeleeuwse (Karolingisch-Ottoonse) nederzetting bij Kootwijk (Heidinga, 1973, 1976; Van Regteren Altena, 1974). Het begin van deze nederzetting wordt voorlopig gedateerd in het einde van de 7e eeuw; de nederzetting bereikte haar maximale uitbreiding omstreeks het einde van de 9e eeuw, terwijl de nederzetting ten gevolge van de katastrofale uitbreidingen van de stuifzanden definitief verlaten werd in het begin van de 11e eeuw. Het ontstaan en de uitbreidingen van de zandverstuivingen in deze omgeving moeten ongetwijfeld voor een belangrijk deel aan de landbouw- en veeteeltaktiviteiten van de bewoners van de nederzetting zelf worden toegeschreven. Dat dezen letterlijk door het stuifzand verdreven zijn, blijkt uit reeds ondergestoven akkers, die nog geploegd en met een soort stuifschermen omheind zijn en uit reeds volgestoven waterputten, die men vergeefs heeft getracht weer uit te graven.

De aanvang van de veenvorming is gedateerd in de 3e eeuw, mogelijk tijdens het begin van een relatief vochtige periode. Het humuspodsolprofiel in dekzand was ver genoeg ontwikkeld om stagnatie van water op de ondoorlatende B2h/B22(ir.)-horizonten van het profiel in deze afvoerloze depressie mogelijk te maken. De veenvorming werd tenslotte onmogelijk in de 11e of 12 eeuw door stuifzandakkumulatie. Opvallend is overigens het hoge percentage Gramineae, dat snel afneemt na het begin van de veenvorming tot waarden < 5% tot de volgende toename na het einde van de veengroei.

De belangrijke toename van de Ericaceae van ca 30% tot ca 80% vond plaats in de aanvang van de 11e eeuw, terwijl iets later in de loop van de 11e eeuw hiermee een toename van de Gramineae, Cerealia en *Plantago* gepaard ging. In dezelfde tijd treedt voor het eerst *Fagopyrum* op, dat overigens pas later enige toename laat zien.

In het bovenste deel vanaf spectrum 10 van het diagram Kootwijk I getuigen veel overige kultuurbegeleiders en exoten, zoals *Cannabis, Centaurea,* Compositae, *Rumex,* respektievelijk *Castania* en *Juglans* van de geringe ouderdom. De toename van *Pinus* in het bovenste spektrum wijst op de dennenaanplant vanaf het einde van de vorige eeuw. Vanaf ca 900 na Chr. is een eerste geleidelijke toename van Ericaceae herkenbaar, die samenvalt met een geleidelijke afname van de percentages *Fagus, Carpinus* en *Quercus,* die alle omstreeks 900 na Chr. maxima van respectievelijk 22%, 5 % en 19% bereiken. De *Fagus*maxima lijken gekorreleerd te kunnen worden met *Alnus*minima. Vanaf de aanvang van de 11e eeuw bereiken *Fagus* en *Quercus* nog slechts lage waarden, terwijl *Carpinus* geheel afwezig is. Opvallend is tevens, dat in de 11e eeuw *Fraxinus* eindigt als kontinue kurve, terwijl *Tilia* juist iets toeneemt.

Bij het diagram Kootwijk II, waarvoor het materiaal verzameld is aan de rand van het veengebied, waar het veen door een ca 2 m dik

stuifzanddek overstoven is, behoort de volgende beschrijving van de materiaalopeenvolging:

0 - 25 cm:
mikropodsol in grijsbruin, leemarm, matig humeus, matig fijn stuifzand

25 - 160 cm:
geelbruin tot grijs, leemarm, zeer humusarm, matig fijn stuifzand

160 - 214 cm:
grijs, zandhoudend, meerbodem-achtig materiaal

214 - 270 cm:
bruinzwart *Sphagnum*veen met resten van *Carex* en *Eriophorum*

270 - 275 cm IIAI:
matig fijn dekzand

275 - 292 cm IIA2:
matig fijn dekzand

> 292 cm IIB2h:
matig fijn dekzand

Het pollendiagram Kootwijk II (figuur 10.3) vertoont een soortgelijke ontwikkeling als in het diagram Kootwijk I. In het onderliggende dekzand komen eveneens relatief hoge percentages Ericaceae voor, terwijl *Fagus* en *Carpinus* praktisch afwezig – niet bewaard – zijn. Het Gramineae maximum bij de aanvang van de veenvorming in het diagram Kootwijk I ontbreekt eveneens. Op grond hiervan wordt de aanvang van de veenvorming in het diagram Kootwijk II geplaatst na het Gramineae maximum en voor het *Fagus/Carpinus* maximum, c.q. ergens midden tussen 300 en 800 na Chr. Dat het veen later is ontstaan, is niet verwonderlijk gezien de hogere ligging aan de rand van de depressie. *Quercus* wordt met lagere waarden in het dekzand teruggevonden dan in het veen, terwijl *Tilia* geheel verdwijnt op de overgang van het dekzand naar het veen. Vanaf spektrum 12.7, waar het Ericaceae minimum ligt, overeenkomend met spektrum 22 van het diagram Kootwijk I, nemen eerst Ericaceae en vervolgens Gramineae en Cerealia toe terwijl *Fagus* achteruit gaat. De veenvorming stopt kort na het tweede Ericaceae maximum in de 11e of 12e eeuw, na de terugval van *Sphagnum, Tilletia, Ditrema* en *Euglypha* tengevolge van uitdroging, hetgeen in beide diagrammen gelijkvormig is.

Van een ander pollendiagram van het Kootwijkse Veen, dat afkomstig is van materiaal, dat op korte afstand ten oosten van de veenkern voor het diagram Kootwijk I verzameld is en dat hier vanwege het min of meer identieke pollenbeeld niet wordt afgebeeld, worden alleen de volgende bijzonderheden vermeld. In dit diagram bereikt *Carpinus* zijn hoogste waarde van 7% en bereikt *Fagus* net zoals in diagram Kootwijk I driemaal een maximum tot 20% in het trajekt tussen 130-95 cm. Deze relatief hoge percentages, tezamen met *Quercus* percentages van 15-20% wijzen op wat rijkere gronden met gemengd, gematigd rijk loofbos in de naaste omgeving van het veen voordat de sterkste uitbreiding van de heide plaats vond. De heide heeft overigens het bos niet geheel vervangen. Vanaf een diepte van ca 45 cm – evenals in diagram Kootwijk I – lijken rigoreuzere ingrepen in het landschap plaats gevonden te hebben dan voorheen.

Aanwijzingen voor intensieve landbouw worden gevonden in de percentages voor Cerealia (ten dele *Secale), Fagopyrum,* Gramineae, *Plantago* en *Rumex*. Op 35 cm werd in dit diagram zelfs een percentage *Cannabis* van 20% gevonden. Het is bekend dat hennep verbouwd werd tijdens perioden met lage graanprijzen in de Late Middeleeuwen.

Volgens Heidinga (1973) bestond de vegetatie tijdens de bewoning van de nederzetting gelegen in het huidige Kootwijkse Zand uit gemengd, gematigd rijk loofbos, waarin eik, berk, beuk en linde voorkwamen, dat langzaam ten dele plaats maakte voor heidevelden. Als akkergewassen werden voornamelijk gerst, tarwe, rogge en haver verbouwd.

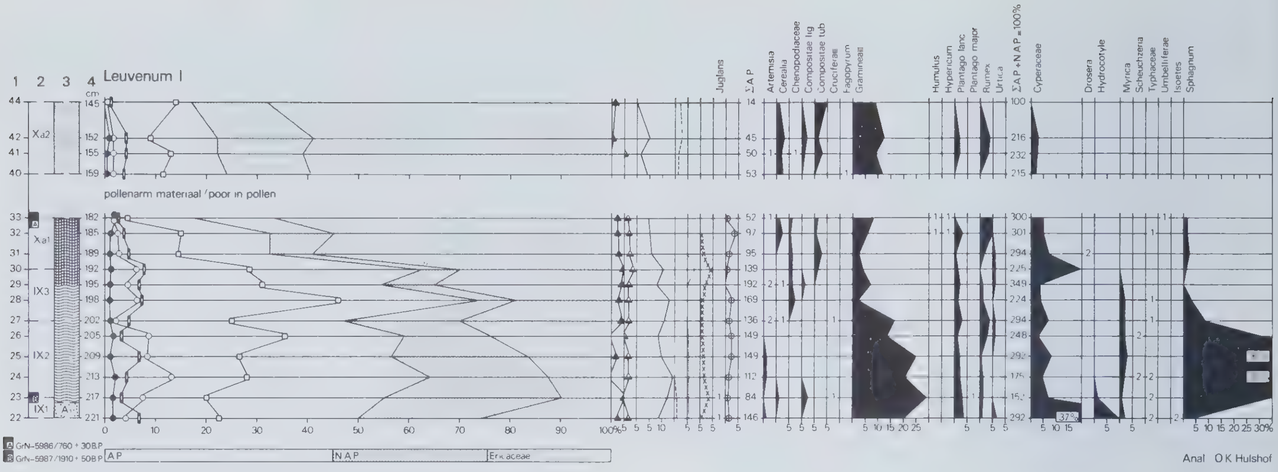
Het Kootwijkse Veen, dat in het kader van een gedetailleerde bodemkartering door Buitenhuis (1964) onderzocht is, dankt zijn ontstaan niet aan belemmering van de waterafvoer langs het oppervlak door het optreden van zandverstuivingen (Hesselink, 1926), maar is ontstaan door stagnatie van regenwater op een ondoorlatend geworden haarpodsolprofiel in een komvormige laagte in dekzand. De verstuiving heeft tenminste lokaal een einde gemaakt aan de veenvorming. Het Kootwijkse Veen is, wat ontstaanswijze betreft, vergelijkbaar met de Gerritsfles op de grens van het Harskampse Zand en de Hoog-Buurlose Heide (Schimmel & Ter Hoeve, 1952).

Leuvenumse Bos

Teneinde de vorming van de stuifzanden in de Vallei van de Leuvenumse Beek te kunnen dateren werd een aantal monsters genomen zowel van overstoven podsolen als van overstoven veentjes. In enkele plateaurestduinen werd op het overstoven bodemprofiel een veenpakketje aangetroffen in dikte variërend van enkele centimeters tot enige decimeters. In het Steenderbos in het zuidelijk deel van het Leuvenumse Bos is een goed ontwikkeld plateaurestduin in detail onderzocht. Van dit plateaurestduin is een dwarsdoorsnede vervaardigd, die de reliëfinversie illustreert, die in dit gebied is opgetreden (figuur 11.4). Bij het diagram Leuvenum I (figuur 10.4) behoort de volgende materiaalbeschrijving:

+5 - 0 cm:
strooisellaag

0 - 15 cm:
zwakke mikropodsol



Figuur 10.4
Pollendiagram Leuvenum I

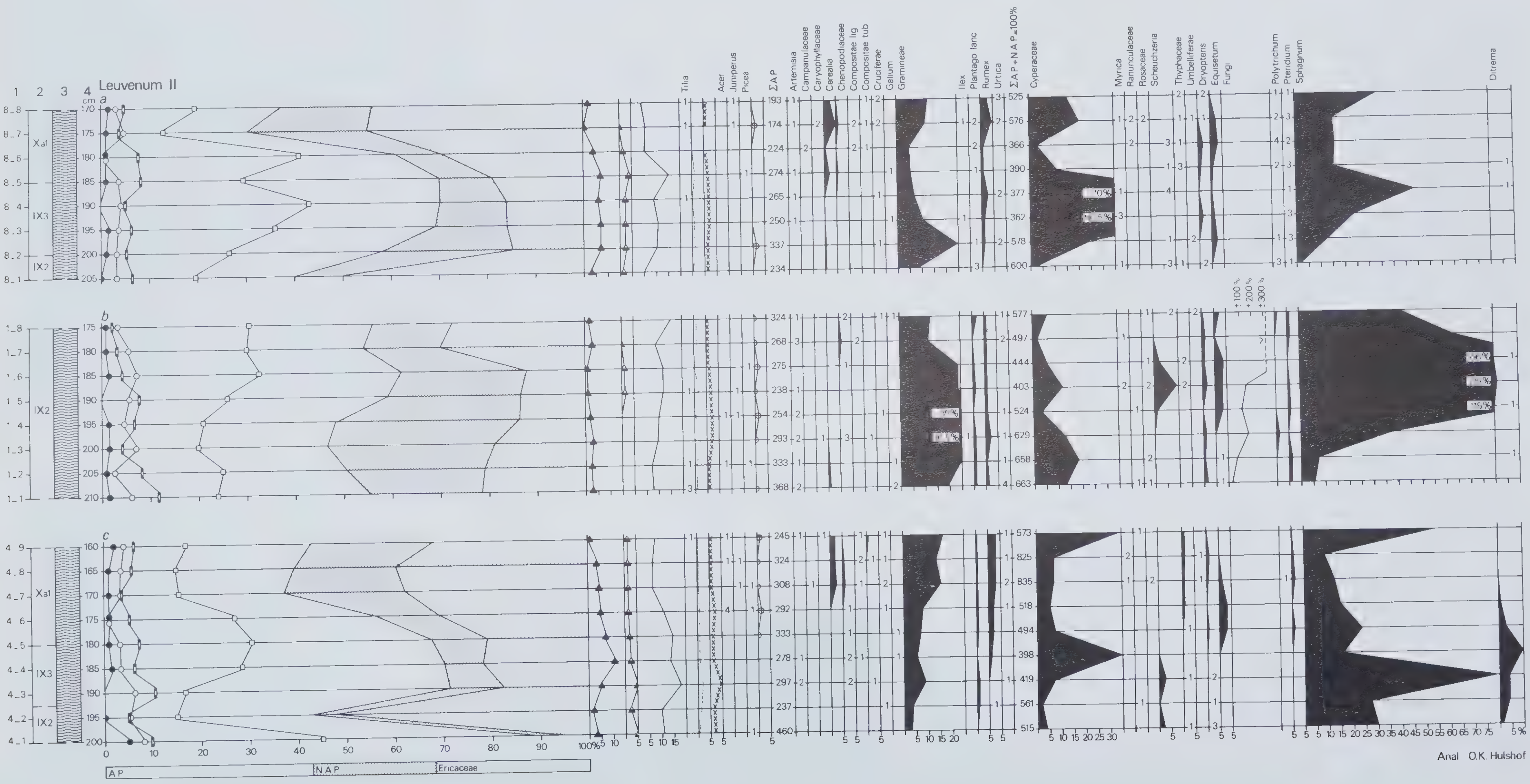
15 - 30 cm:
geelbruin, leemarm, matig humeus, matig fijn stuifzand
30 - 135 cm:
geelbruin, leemarm, uiterst/zeer humusarm, matig fijn zand
135 - 170 cm:
geelgrijs, leemarm, matig humusarm (niet in duidelijke bandjes gekoncentreerd), matig fijn stuifzand
170 - 180 cm:
grijs, leemarm, matig humusarm, matig fijn stuifzand met plantenresten
180 - 218 cm:
sterk samengedrukt *Sphagnum*veen met *Calluna* takjes, in laagjes aanwezigheid van *Scheuchzeria* en *Eriophorum*
218 - 240 cm IIA1,2:
grijs, leemarm, matig humusarm, matig fijn dekzand
240 - 270 cm IIB2:
donkerbruin, leemarm, matig humeus, matig fijn dekzand
270 - ca 340 cm IIBC:
geelbruin, leemarm, zeer humusarm, matig fijn dekzand
> ca 340 cm:
grof grindrijk materiaal

De *Sphagnum*veenvorming in de afvoerloze laagte in dekzand behorende bij diagram Leuvenum I is aangevangen in de 1e of 2e eeuw na Chr. (GrN-5987, 1910 ± 50 B.P). Deze datering geeft weliswaar een iets hogere ouderdom dan de aanvang van de veenvorming in het Kootwijkse Veen, maar verondersteld wordt, dat het begin van de veengroei in beide lokaties aan dezelfde vormingskondities gebonden is. Het totaal slechts ca 35 cm dikke, sterk samengedrukte veenmosveenlaagje (ca 3 cm/100 jaar) is blijkens de datering (GrN-5986, 760 ± 30 B.P.) in het begin van de 13e eeuw overstoven geraakt door stuifzand. Op grond van de volgende kenmerken in het pollendiagram is, in vergelijking met overeenkomstige veranderingen in het pollenbeeld van het Kootwijkse Veen, een verdeling in subzones aangegeven:

a. Subzone IX2, aanvang van de veengroei, hoog percentage Gramineae, hoog percentage *Sphagnum*, tevens zijn opvallend in dit trajekt de relatief hoge percentages *Betula*.
b. Subzone IX3, geleidelijke toename Ericaceae, hoge *Fagus* en *Carpinus* waarden.
c. Subzone Xa1, sterke toename Ericaceae, geleidelijke afname *Fagus, Carpinus* en *Quercus*, toename Cerealia, Compositae en *Rumex*, op het laatst van deze subzone einde van de veengroei.
d. Het bovenste deel van het diagram, afkomstig van de enige humeuze laagjes in stuifzand, die voldoende pollen bevatten voor het vervaardigen van spektra, is geplaatst in subzone Xa2 op basis van vergelijking met diagram Kootwijk I. *Fraxinus* eindigt als kontinue kurve in subzone Xa1, terwijl *Tilia* juist in het bovenste stuifzandgedeelte, net zoals in diagram Kootwijk I, optreedt.

Van de boompollen is *Alnus* in alle gevallen dominant, daarop volgt *Corylus* behalve in subzone IX2. *Plantago* is in het gehele veenprofiel aanwezig.

Tevens zijn van een drietal veenkernen, afkomstig uit plateaurestduinen, pollendiagrammen vervaardigd. Deze gegevens zijn weergegeven in figuur 10.5 onder Leuvenum II a, b en c. Van deze plateaurestduinen zijn eveneens door middel van boringen en waterpassing dwarsprofielen vervaardigd, teneinde de positie van de veenlagen te kunnen bepalen. De drie veenkernen, ieder met een dikte van ca 35 cm, bestaan voornamelijk uit samengedrukt *Sphagnum*veen gelegen op overstoven humuspodsolen in dekzand. Op de veenlagen komen stuifzanddekken van 160-175 cm dikte voor. De 3 à 4 m hoge plateaurestduinen vertonen alle een iets kom-



Figuur 10.5
Pollendiagram Leuvenum II

vormige ligging van het overstoven bodemprofiel en zijn omringd door vlakke uitgestoven laagten in grindhoudende afzettingen.

De drie veenkernen Leuvenum II a, b en c, die wat geomorfologische en stratigrafische positie betreft geheel overeenkomen met de veenlaag van diagram Leuvenum I kunnen als volgt ingepast worden:

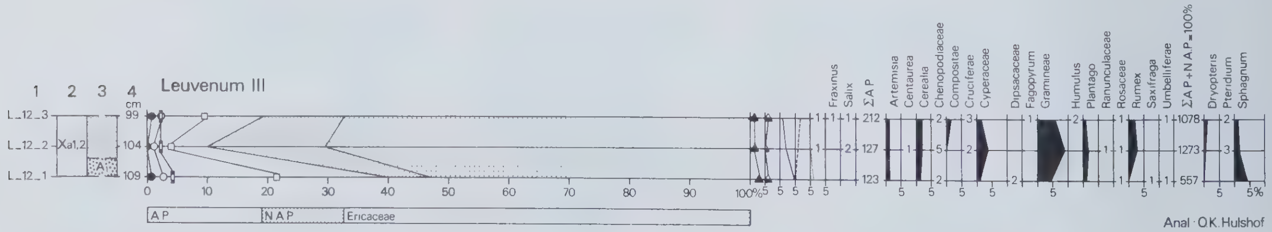
De diagrammen Leuvenum II a en c lijken zeer sterk op elkaar en worden gezamenlijk besproken. In beide diagrammen wordt de grens tussen de subzones IX3 en Xa1 daar gelegd waar *Fagus*, *Carpinus* en *Quercus* hun hoogste waarden bereiken, waar de toename van de Ericaceae begint, waar *Fraxinus* nog net als kontinue kurve aanwezig is en voor de sterke uitbreiding van de kultuurgewassen. Het moment van einde van de veengroei door overstuiving wordt in beide gevallen dan ook wederom geplaatst in de Late Middeleeuwen voor subzone Xa2. Het begin van de veengroei valt in subzone IX2.

Diagram Leuvenum IIb is ouder en kan min of meer gelijk gesteld worden aan het gedeelte van diagram Leuvenum I op een diepte van ca 200-220 cm. Beide bemonsteringsplaatsen liggen op korte afstand van elkaar en aangezien het pollenbeeld van beide diagrammen veel overeenkomst vertoont, wordt diagram Leuvenum IIb in zijn geheel gerekend tot subzone IX2. *Fagus* en *Carpinus* bezitten lage waarden en een toename aan de bovenzijde van Cerealia, Gramineae en *Rumex* is niet aanwezig. Alleen de zwakke toename van Ericaceae vanaf spektrum 1-6 komt mogelijk overeen met die van Leuvenum II a en c. *Betula* is met relatief hoge waarden aanwezig. Het bovenste deel van diagram Leuvenum II b wordt dan ook geplaatst in de Vroege Middeleeuwen. Het jongere deel van het veen, dat naar boven toe in dit geval steeds zandiger werd, is tijdens de monstername verloren gegaan. Alhoewel hier dus waarschijnlijk sprake is van een qua omvang en betekenis geringe verstuiving in de Vroege Middeleeuwen, heeft ook in dit geval de definitieve overstuiving van het veen pas later plaatsgevonden. *Fagopyrum* werd in deze veenkernen overigens niet gevonden. Een aanwijzing voor het langzaam uitdrogen van het veen van diagram Leuvenum II b kan zijn de sterke toename van het aantal *Fungi* (Wijmstra et al., 1971).

Op enkele plaatsen, verspreid door het Leuvenumse Bos, zijn tevens monsters verzameld in plateaurestduinen, waarin geen veenlaagje voorkwam op het overstoven bodemprofiel in dekzand. De onderste centimeters van het voorkomende stuifzand en de bovenste centimeters van het overstoven profiel in dekzand zijn bemonsterd en hiervan zijn pollenspektra vervaardigd. Hiertoe zijn profielkuilen ingegraven in de flanken van plateaurestduinen. Als voorbeeld hiervan geldt het diagram Leuvenum III (figuur 10.6). Bij dit diagram behoort de volgende materiaalbeschrijving:

+5 - 0 cm:
strooisellaag
0 - 5 cm:
zwakke mikropodsol
5 - 50 cm:
geelbruin, leemarm, uiterst/zeer humusarm, matig fijn stuifzand
50 - 100 cm:
geelbruin, leemarm, zeer humusarm, matig fijn stuifzand, gelaagd met dunne humusbandjes, aan de onderzijde begrensd door een fijn grindsnoertje
100 - 106 cm:
grijs, leemarm, afwisselend zeer humusarm en matig humeus, matig fijn stuifzand
106 - 116 cm IIA1 (2):
bruin tot grijszwart, leemarm, matig humeus, matig fijn dekzand
116 - 138 cm IIA2:
grijs, leemarm, matig humusarm, matig fijn dekzand
138 - 150 cm IIB2h:
bruin tot zwart, leemarm, matig humeus, matig fijn dekzand, aan de onderzijde begrensd door een 1 cm dikke humus/ijzerband
150 - 172 cm IIB22:
bruin, leemarm, matig humusarm, matig fijn dekzand, aan de onderzijde begrensd door een 1 cm dikke ijzerband
172 - 236 cm IIB3:
leemarm, uiterst/zeer humusarm, matig fijn dekzand
> 236 cm:
grof grindrijk materiaal

De spektra L-12-1 t/m 3 van het diagram Leuvenum III kunnen vergeleken worden



Figuur 10.6
Pollendiagram Leuvenum III

met de spektra 32, 33 en 40 van het diagram Leuvenum I. Op grond van de gelijksoortige toename van het percentage Ericaceae op de overgang dekzand en stuifzand en de aanwezige percentages Gramineae, Cerealia (waaronder *Secale* typen), *Plantago* en *Rumex* kan het begin van de overstuiving ook in dit geval waarschijnlijk gedateerd worden in de Late Middeleeuwen.

De datering en interpretatie van de pollendiagrammen afkomstig van veen, voorkomend in de door reliëfinversie ontstane plateaurestduinen in het Leuvenumse Bos is in overeenstemming met de onderzoekingen van identieke stuifzandvormen door Polak (1968), Koster (1970a) en De Gans (1974). Polak (1968) wijst bovendien op het voorkomen van houtskooldeeltjes, zowel aan de basis als aan de top van het veenprofiel in een plateaurestduin, hetgeen er volgens haar op duidt, dat bos- en heidebranden een rol gespeeld hebben bij de aanvang van de veenvorming zowel als bij de aanvang van de overstuiving. Bij dit onderzoek is op deze plaatsen echter niets gevonden dat hierop wijst.

Coldenhove

De monsters voor het diagram Coldenhove zijn verzameld in een groeve direkt ten noorden van de papierfabriek de Coldenhove. Deze lokatie ligt aan de rand van een ZW-NO georiënteerd stuifzandgebied op de noordflank van het sneeuwsmeltwaterdal van de Eerbeekse Beek. Het stuifzand ligt hier op een niet door verstuiving aangetaste haarpodsolgrond in Jonger dekzand (figuur 10.7). Op het podsolprofiel komt in een komvormige depressie over een afstand van enkele tientallen meters een tot maximaal 30 cm dik veenlaagje voor, dat naar beide zijden in de groevewand uitwigt. Van het bovenliggende stuifzandpakket bevatten uitsluitend enige 1 à 2 cm dikke humeuze laagjes voldoende pollen voor het vervaardigen van spektra.

Bij dit diagram (figuur 10.8) behoort de volgende materiaalbeschrijving:

0 - 5 cm:
mikropodsol in grijs, leemarm, matig humeus, matig fijn stuifzand

5 - 95 cm:
geelbruin, leemarm, uiterst tot zeer humusarm, matig fijn stuifzand

95 - 158 cm:
laagsgewijze afwisseling van geelbruin, leemarm, uiterst tot zeer humusarm, matig fijn stuifzand en 1-4 cm dikke, humeuze, soms zwak lemige laagjes

158 - 160 cm:
donkerbruin venig zand

160 - 185 cm:
donkerbruin tot zwart, sterk samengeperst *Eriophorum*veen met *Sphagnum*resten, in de bovenste centimeters komen veel houtskooldeeltjes voor

Figuur 10.7
Overstoven bodemprofiel, lokatie Coldenhove
'Blown-over' soil profile, location Coldenhove

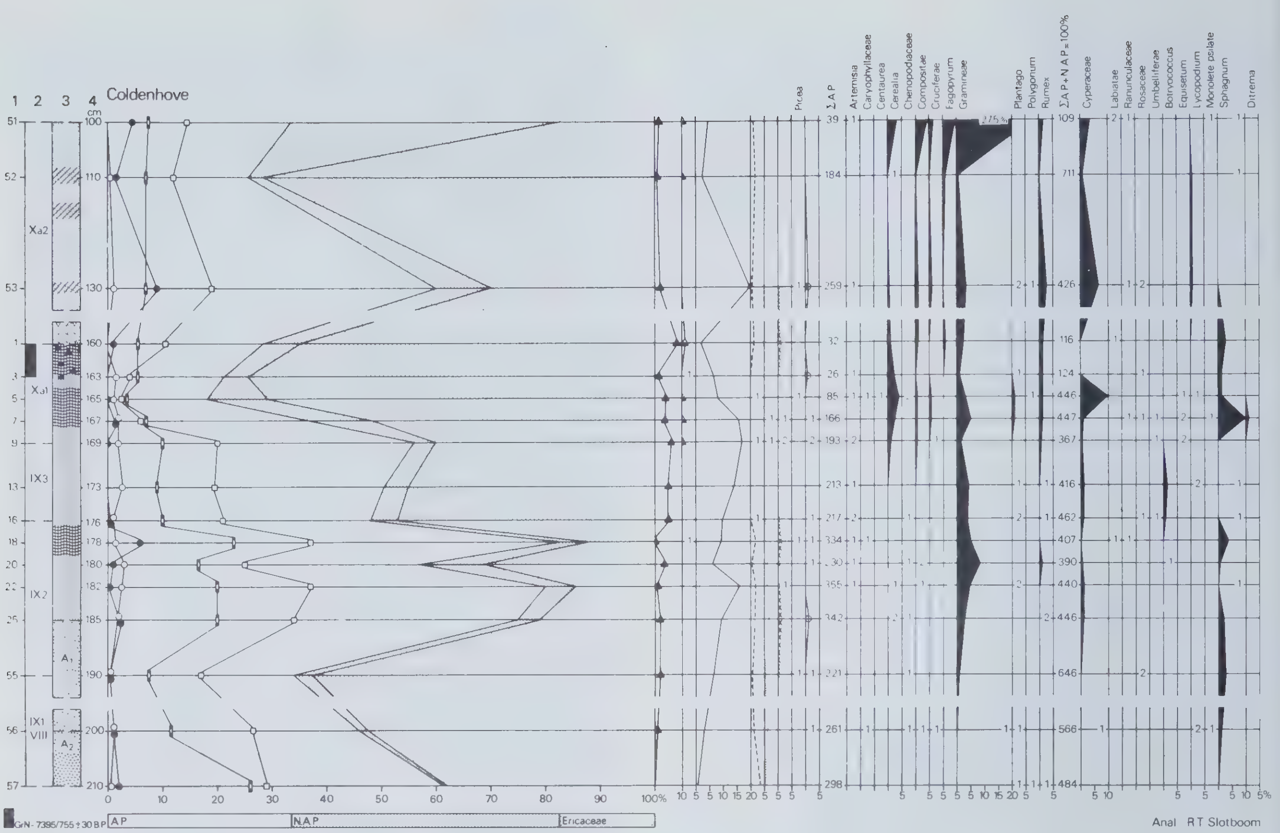
185 - 200 cm IIA1:
grijszwart, leemarm, humusrijk, matig fijn dekzand

200 - 210 cm IIA2:
grijs, leemarm, matig humusarm, matig fijn dekzand

210 - 225 cm IIB2h:
donkerbruin, leemarm, matig humeus, matig fijn dekzand

> 225 cm IIBC:
geelbruin, leemarm, uiterst tot zeer humusarm, matig fijn dekzand; hierin komen dunne laagjes matig grofzandig, fijn grindhoudend materiaal voor

Het pollendiagram Coldenhove is als volgt ingedeeld in de Subatlantische subzones. Het einde van de *Eriophorum-Sphagnum*veenvorming is gedateerd (GrN-7395, 755 ± 30 B.P.) in het begin van de 13e eeuw. De aanwezigheid van houtskooldeeltjes in de bovenste centimeters van het veen kan een indikatie vormen voor een heidebrand, die een einde van de veengroei en een aanvang van de overstuiving veroorzaakt heeft (Polak, 1968). De overstuiving is aanvankelijk langzaam verlopen gezien het venige zand-



Figuur 10.8
Pollendiagram Coldenhove

laagje op het veen en de voorkomende humeuze laagjes onderin het stuifzandpakket. Eerst in het bovenste spektrum van het stuifzand is de toename aanwezig van de Cerealia, Compositae, *Fagopyrum* en Gramineae, die kenmerkend is voor het middendeel van subzone Xa2. De waarde van bijna 10% *Pinus* in het stuifzand op 130 cm diepte is voor de in dit hoofdstuk besproken diagrammen uitzonderlijk hoog. Ook in het veen in subzone IX2 komt tweemaal een terugval in het Ericaceae percentage voor, hetgeen samengaat met een toename van ondermeer *Pinus*. Kort voor het einde van de veengroei bereikten Ericaceae een maximum, kenmerkend voor subzone Xa1. Hiermee gepaard gaan lage waarden voor *Alnus* en *Corylus* en een afname van *Fagus* en *Quercus*, net zoals in de diagrammen Kootwijk I en II. Het *Fagus* en *Quercus* maximum (*Carpinus* is in dit diagram bijna afwezig) bij spektrum 9 aan het begin van de sterke Ericaceae toename markeert de overgang van subzone IX3 naar Xa1. Opvallend is dat *Tilia, Ulmus* en *Fraxinus* eindigen als kontinue kurve daar waar *Fagus* hogere waarden bereikt op de overgang van subzone IX2 naar IX3. Het aanvangstijdstip van de veenvorming is niet exact gedateerd, maar kan geplaatst worden in subzone IX2. De onderste drie spektra in het dekzand zijn overeenkomstig de spektra dieper dan 2,80 m van het diagram Kootwijk II en bezitten lage *Fagus* waarden, een toename van Ericaceae, en een afname van *Alnus, Corylus* en *Tilia*.

Op enkele plaatsen elders op de Veluwe zijn eveneens door stuifzand begraven veenlaagjes aangetroffen, namelijk in het Kootwijkse Zand ten NO van De Dikke Bart, op de Vierhoutense Heide, in het gebied tussen Gortel en Tongeren en nabij Ruimzicht in de Gelderse Vallei ten westen van Stroe.

10.4.2 Overstoven bodemprofielen

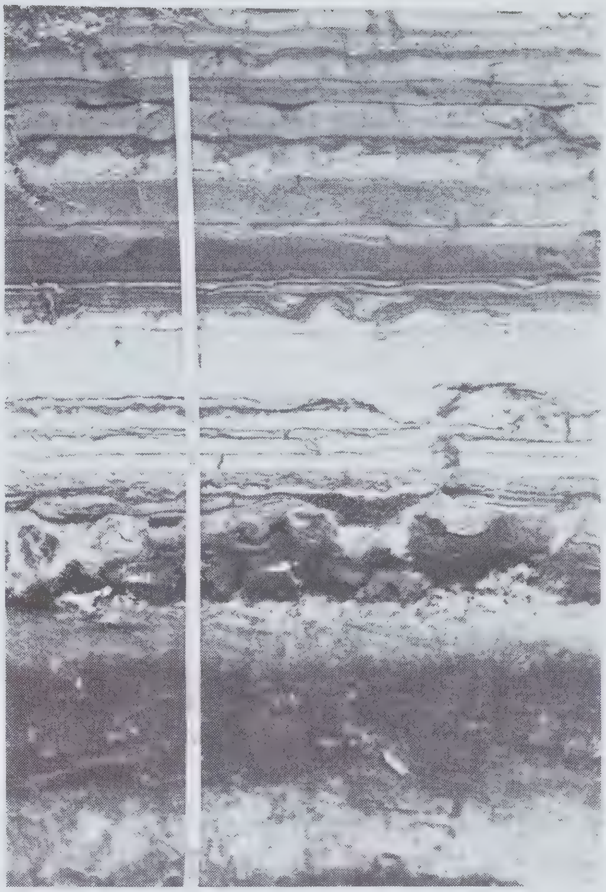
Woeste Hoeve

De pollenmonsters voor het diagram Woeste Hoeve zijn verzameld in de wand van een tijdelijke groeve in het stuifzandgebied van de Ramenberg nabij Woeste Hoeve. De volgende sedimentopeenvolging en profielontwikkeling is op deze plaats waargenomen:

+5 - 0 cm:
strooisellaag
0 - 14 cm A1:
donkergrijs, leemarm, matig tot zeer humeus, matig fijn stuifzand
14 - 20 cm A2:
lichtgrijs, leemarm, matig humusarm, matig fijn stuifzand
20 - 80 cm:
laagsgewijze afwisseling van licht geelbruin, leemarm, uiterst tot zeer humusarm, matig grof

stuifzand en ca 1 cm dikke humeuze laagjes, van 30 - 42 cm grijs, gevlekt, zwak lemig, matig humeus, matig fijn stuifzandlaagje
80 - 130 cm:
laagsgewijze afwisseling van grijsbruin, leemarm, zeer humusarm, matig tot zeer grof stuifzand en ca 1 cm dikke humeuze laagjes
130 - 133 cm:
zwart veraard veen, zwak gelaagd met zeer dunne stuifzandlaagjes
133 - 139 cm:
donkerbruin, sterk samengeperst *Sphagnum*veen, weinig herkenbare plantenresten van Ericaceae en *Carex*
139 - 143 cm IIA2:
grijs, leemarm, matig humusarm, matig grof zand met veel plantenresten
143 - 149 cm IIB:
geelbruin, leemarm, matig humusarm, matig grof zand met veel plantenresten
149 - 165 cm IIIA1:
grijszwart, leemarm, humusrijk, matig grof dekzand
165 - 177 cm IIIA2:
lichtgrijs, leemarm, matig humusarm, matig grof dekzand
177 - 183 cm IIIB1h:
zwart met lichtgrijs gevlekt, leemarm, humusrijk, matig grof dekzand
183 - 195 cm IIIB2 hir.:
donkerbruin tot zwart gevlekt, verkit, leemarm, matig humeus, matig grof dekzand met massieve, harde ijzerkonkreties en -fibers
195 - 221 cm IIIB3:
bruin, leemarm, matig humusarm, matig grof dekzand met zwarte massieve, harde ijzerkonkreties en -fibers
> 221 cm IIIBC:
geelbruin, leemarm, zeer humusarm, matig grof dekzand

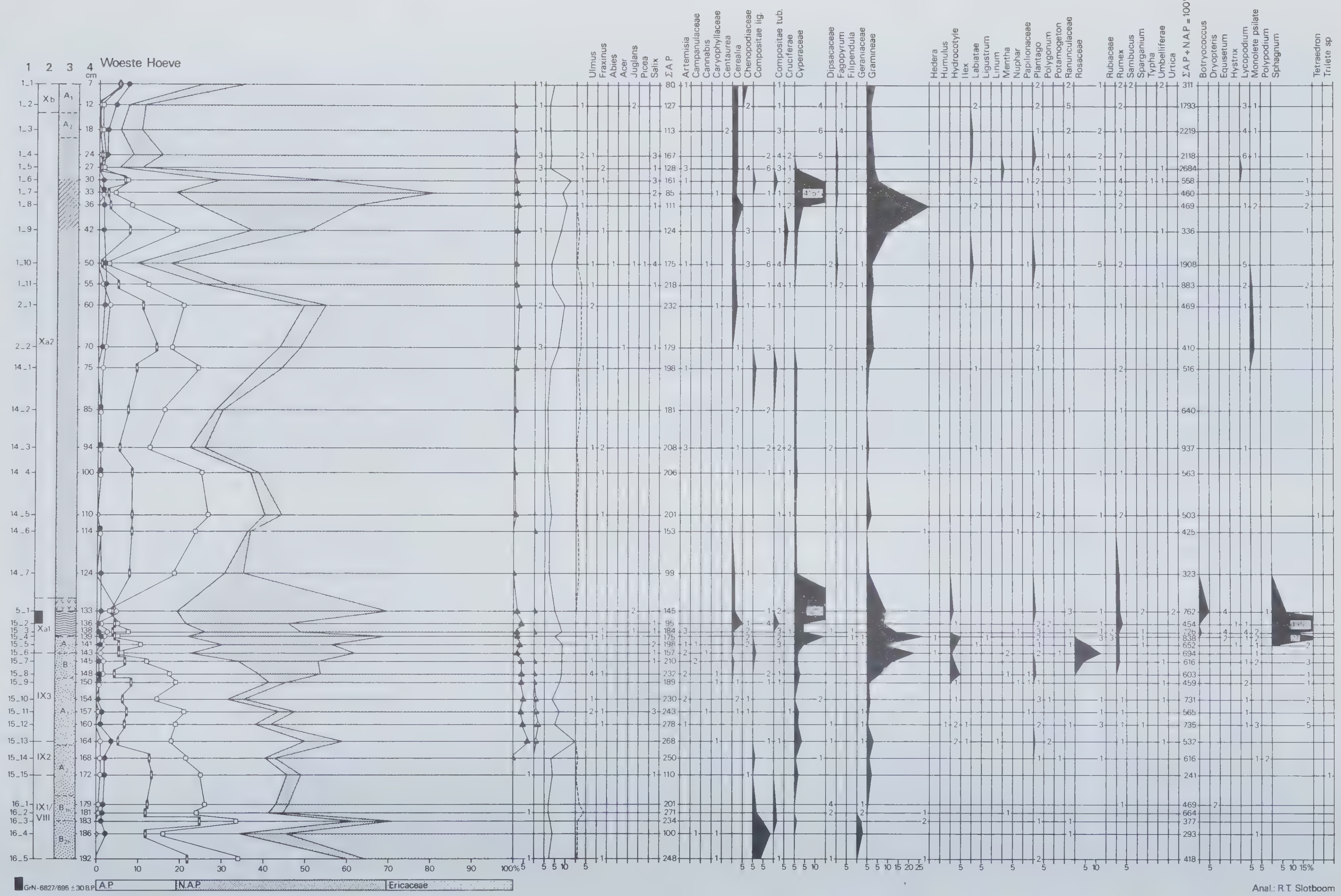
In paragraaf 9.3 werden in verband met mikromorfologisch onderzoek van de in deze groeve voorkomende bodemprofielontwikkeling in dekzand en in stuifzand meerdere materiaaleigenschappen van deze sedimenten besproken, terwijl de mineralogische samenstelling besproken is in paragraaf 6.4. De aard van de gelaagdheid van het stuifzandpakket, de onregelmatige begrenzingen van het zwarte veraarde veenlaagje en het samengeperste, uitgedroogde en ten dele in stukken gebroken *Sphagnum*veenlaagje, en de daaronder voorkomende profielontwikkeling in dekzand worden geïllustreerd in figuur 10.9. In de groevewand kwamen op korte afstand grote verschillen in sedimentopeenvolging voor; dunne of dikke stuifzandpakketten op een enkel of dubbel podsolprofiel in dekzand kwamen voor naast stuifzandpakketten direkt rustend op grindhoudend preglaciaal materiaal, waar het



Figuur 10.9
Overstoven bodemprofiel, lokatie Woeste Hoeve
'Blown-over' soil profile, location Woeste Hoeve

dekzand geheel uitgestoven was. Het veenlaagje op het bodemprofiel in dekzand kwam slechts over een klein verspreidingsgebied voor in een ondiepe depressie in het dekzandoppervlak en ging lateraal over in een zwarte, humusrijke A1-horizont, waarop een laag verstoven A2-materiaal voorkwam (beschrijving paragraaf 9.3).

Het diagram Woeste Hoeve (figuur 10.10) omvat het gehele stuifzandpakket ter plaatse, een aanzienlijk deel van het podsolprofiel in dekzand en het tussenliggende laagje *Sphagnum*veen. In de bovenste twee spektra is de zwakke toename van *Pinus* herkenbaar als gevolg van de dennenaanplant sinds het einde van de vorige eeuw (subzone Xb). Het gehele stuifzandpakket tot 130 cm diepte wordt gerekend tot subzone Xa2.
Het pollenbeeld tussen 130-60 cm vertoont geen veranderingen van enige betekenis. Van 60-50 cm diepte nemen Ericaceae ineens sterk toe, kort daarop gevolgd door een, duidelijk in de spektra tussen 45-25 cm diepte herkenbare, kultuurfase. Een soortgelijke verandering in het pollenbeeld is te zien bovenin het diagram Kootwijk I en misschien in het bovenste spektrum van diagram Coldenhove. Deze fase uit zich in een afname van *Alnus* en *Corylus*, een toename



Figuur 10.10
Pollendiagram Woeste Hoeve

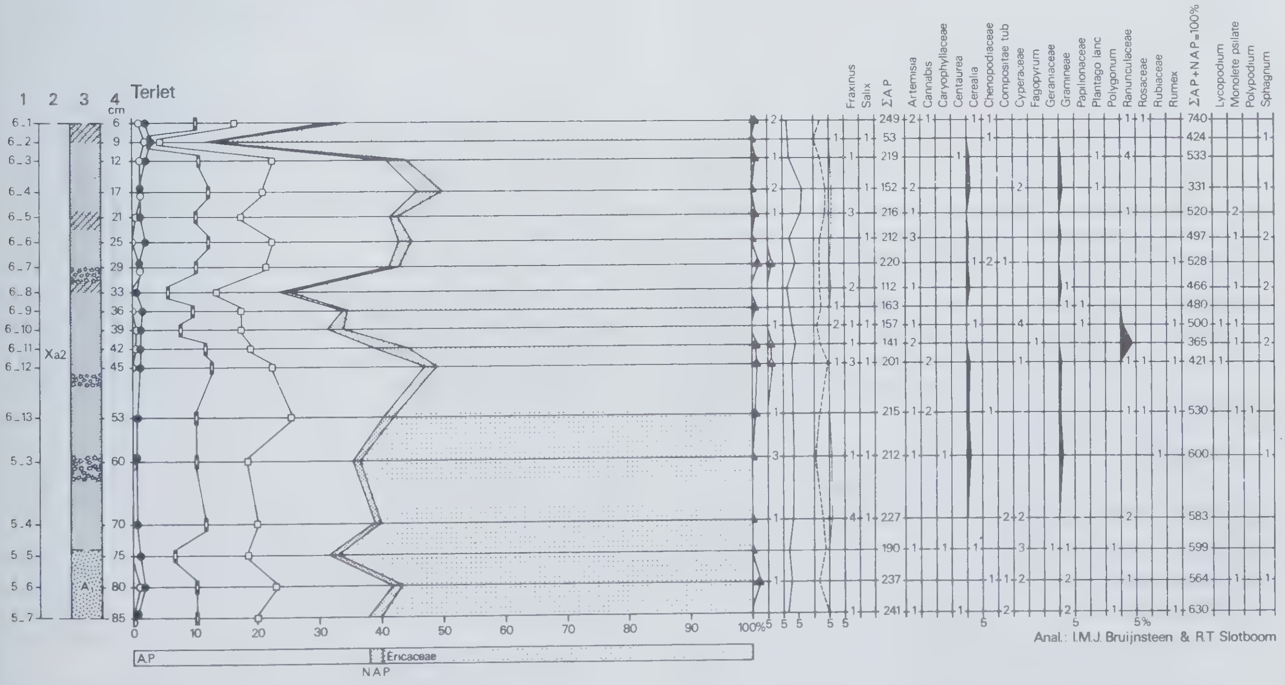
van *Quercus*, en maxima in de kurves van Cerealia, Cyperaceae en Gramineae, terwijl *Fagopyrum* tevens regelmatig op deze diepte voorkomt. Bij gebrek aan absolute dateringen en de onmogelijkheid om de snelheid van stuifzandakkumulatie te kwantificeren is het niet mogelijk deze fase in subzone Xa2 nader in tijd vast te leggen. Wat materiaal betreft werd op deze diepte stuifzand aangetroffen met een hoger leem- en humusgehalte dan in het boven- en onderliggende stuifzand. Na deze fase breiden Ericaceae zich overigens weer sterk uit tot ca 90% en nemen de boompollen dientengevolge af, hetgeen wijst op de sterke uitbreiding van de heide ter plaatse in de laatste eeuwen tot het begin van deze eeuw.

De bovenste helft van het veenlaagje is gedateerd (GrN-6827, 695 ± 30 B.P.) in de tweede helft van de 13e eeuw, waarmee tevens het aanvangsmoment van de overstuiving kort hierna is vastgelegd. Het veenlaagje dat geplaatst wordt in subzone Xa1, is in het diagram herkenbaar aan hoge waarden van Cerealia, Cyperaceae, Gramineae en in mindere mate *Rumex* en uiteraard *Sphagnum*. In het onderliggende dekzandprofiel is alleen de subzone IX3 met maximale waarden van *Fagus, Carpinus* en *Quercus* en een geleidelijke toename van Ericaceae duidelijk aanwijsbaar. Daaronder lijkt sprake te zijn van een snelle overgang van subzone IX2 naar IX1 en VIII. Ter hoogte van het veenlaagje en direkt daaronder in het dekzand wijst de aanwezigheid van waterplanten als *Hydrocotyle* en Rosaceae en het voorkomen van flinke aantallen *Botryococcus* op zeer natte kondities kort voor en tijdens de veenvorming.

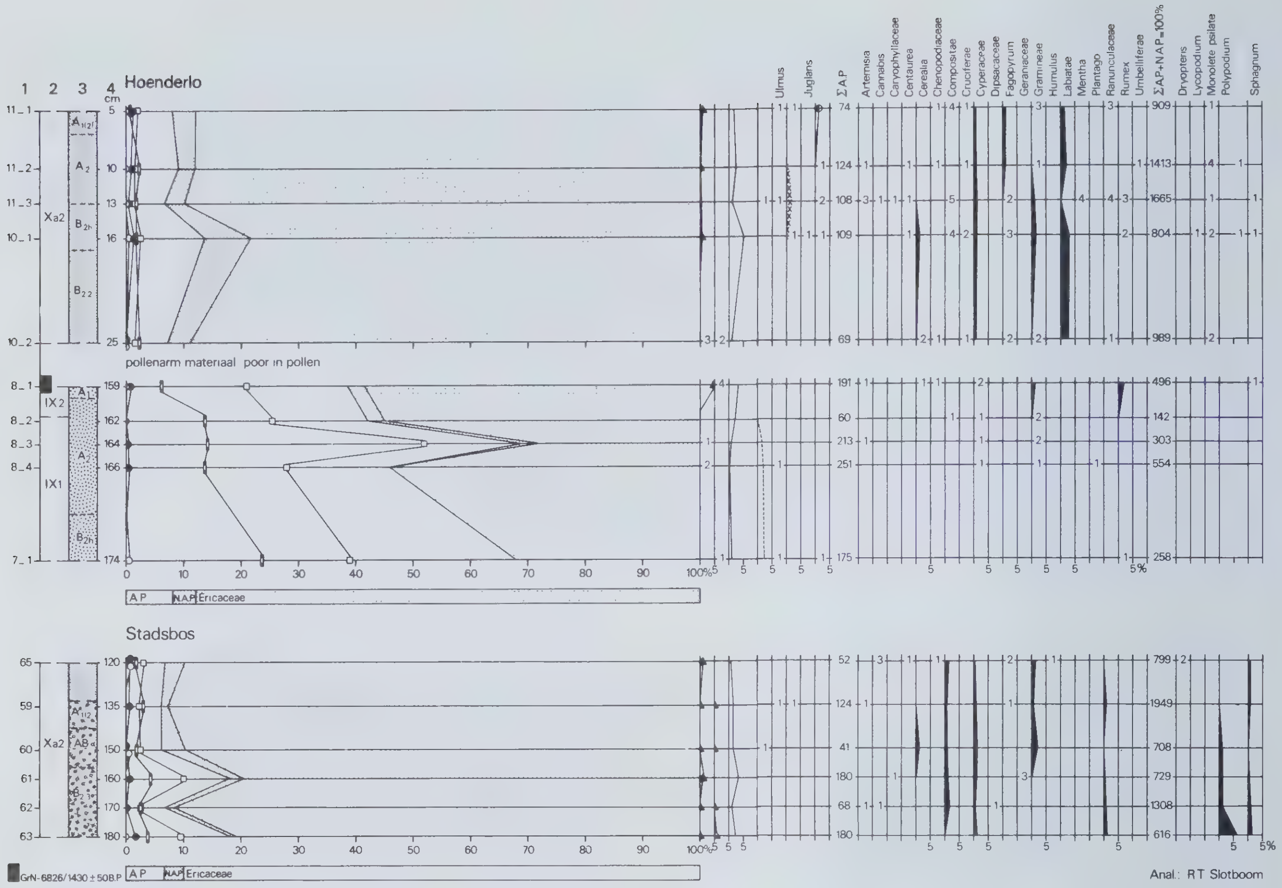
Terlet

Het diagram Terlet (figuur 10.11) is afkomstig van een kleine ca 1 m hoge stuifzandheuvel, bestaande uit uitzonderlijk grofzandig, grijs gekleurd stuifzand met vele donkere humeuze laagjes en grofzandige, fijne grindrijke laagjes. De bemonsterde heuvel maakt deel uit van een klein, vlak tot zwak golvend stuifzandgebied ten dele op het oorspronkelijke bodemprofiel, ten dele op een uitgestoven laagte in grindhoudend fluvio-glaciaal materiaal liggend. De huidige begroeiing bestaat overwegend uit grove den, zomereik, berk en struikheide. De bodemprofielontwikkeling en materiaalkenmerken van het onderzochte profiel staan beschreven in paragraaf 9.3.
Het mikromorfologisch onderzoek van dit profiel wees uit, dat het stuifzand hier voornamelijk bestaat uit over korte afstand geresedimenteerd bodemprofielmateriaal, zodat verwacht mag worden, dat de samenstelling van het pollenprofiel in dit stuifzand voor een deel bepaald zal zijn door pollen afkomstig van het podsolprofiel in dekzand uit de direkte omgeving. De monsters van de spektra 6-2 t/m 4 en 6-8 t/m 11 waren relatief arm aan pollen.

Het pollendiagram vertoont een zeer uniform beeld èn reflecteert geen enkele vegetatieverandering van betekenis. Op grond van de min of meer kontinue, gelijkblijvende aanwezigheid van *Carpinus, Fagus, Quercus* en *Tilia*, het voorkomen van vele kultuurgewassen, zij het in lage aantallen, en de hoge waarden van Ericaceae kan het gehele diagram waarschijnlijk geplaatst worden in de tweede helft van subzone Xa2.



Figuur 10.11
Pollendiagram Terlet



Figuur 10.12
Pollendiagram Hoenderlo, Stadsbos

Van enige invloed van landbouwaktiviteiten in de direkte omgeving is niets te merken. De hoge Ericaceae percentages wijzen op een lokale heidevegetatie. Op grond van dit diagram en mede op grond van het mikromorfologisch onderzoek wordt voor dit stuifzandprofiel een jonge ouderdom en een snelle akkumulatie aangenomen.

Hoenderlo

In de stuifzandrug langs de uitgestoven laagte in het vlakke stuifzandgebied in het oostelijk deel van het Nationale Park 'De Hoge Veluwe', dat beschreven wordt in paragraaf 11.5, is een profielkuil gegraven voor materiaalbeschrijving en monstername. De lokatie van de bemonsteringsplaats staat aangegeven in figuur 11.11. De stuifzandrug langs de uitgestoven laagte is op de bemonsteringsplaats nog 1-1,5 m hoger dan op de plaats waar het ingemeten dwarsprofiel de rug snijdt. De sedimentopeenvolging en de profielontwikkeling in de rug worden als volgt beschreven:

+2 - 0 cm:
strooisellaag
0 - 7 cm A1 (2):
grijszwart, leemarm, matig humeus, matig fijn stuifzand
7 - 13 cm A2:
grijs, leemarm, matig humusarm, matig fijn stuifzand
13 - 17 cm B2h:
grijszwart, leemarm, matig humeus, matig fijn stuifzand
17 - 28 cm B22:
lichtbruin, leemarm, zeer humusarm, matig fijn stuifzand
28 - 40 cm BC:
leemarm, uiterst/zeer humusarm, matig fijn stuifzand
40 - 150 cm:
leemarm, uiterst/zeer humusarm, matig fijn stuifzand, voorkomen van 1-3 cm dikke, humeuze bandjes op ca 90, 120 en 140 cm, voorkomen van 1-2 cm dikke, zeer grof zandige en fijn grindrijke laagjes op ca 63, 69, 75, 103 en 142 cm.
150 - 157 cm:
geelgrijs, leemarm, matig humusarm, matig fijn stuifzand
157 - 160 cm IIA1:
grijszwart, leemarm, matig humeus, matig fijn dekzand
160 - 171 cm IIA2:
lichtgrijs, leemarm, matig humusarm, matig fijn dekzand

171 - 180 cm IIB2h:
zwart, leemarm, matig humeus, verkit, matig fijn dekzand, aan de onderzijde begrensd door een 1 cm dikke ijzerband
180 - 191 cm IIB22:
donkerbruin gevlekt, leemarm, matig humusarm, ten dele verkit, matig fijn dekzand
191 - 207 cm IIB3:
lichtbruin, leemarm, zeer humusarm, matig fijn dekzand
207 - 235 cm IIBC:
leemarm, uiterst/zeer humusarm, matig fijn dekzand
235 - 390 cm:
leemarm, uiterst/zeer humusarm, matig fijn dekzand, vanaf 355 cm voorkomen van zeer grof zandige laagjes en vanaf 375 cm bijmenging van fijn grind, aan de onderzijde begrensd door een grindsnoer
> 390 cm:
zwak lemig, uiterst/zeer humusarm, zeer fijn tot matig grof zand met grindbijmenging, vanaf ca 500 cm voorkomen van grof grind.

In figuur 10.12 staat het voor deze lokatie vervaardigde pollendiagram. Van het onderzochte stuifzand- en dekzandmateriaal van de lokatie Hoenderlo bevatten alleen de bovenste delen van de humuspodsol in dekzand en de zwakke humuspodsol in stuifzand voldoende pollen voor de vervaardiging van spektra. De meest opvallende kenmerken van het diagram zijn de uitzonderlijke hoge percentages Ericaceae tot bijna 90% in het stuifzand, de ongeveer de helft lagere Ericaceae percentages en de hoge *Alnus* en *Corylus* percentages in het dekzand en het vrijwel ontbreken van overige niet-boompollen in het dekzand. Op grond van de aanwezigheid van *Cannabis, Centaurea,* Cerealia en *Fagopyrum* worden de bovenste vijf spektra gerekend tot subzone Xa2. De percentages kultuurindikatoren zijn echter relatief laag. Dankzij de enorme dominantie van Ericaceae wordt in het diagram gemaskeerd, dat in de spektra van 5-16 cm - m.v. het percentage *Pinus* min of meer gelijk is aan de normaliter veel hogere *Alnus* en *Corylus* percentages. Deze relatieve toename van *Pinus* kan vermoedelijk toegeschreven worden aan bijmenging van (subrecent) *Pinus*pollen door infiltratie of homogenisatie door bodemvorming. De spektra afkomstig van het profiel in dekzand worden gerekend tot subzone IX1, terwijl het bovenste spektrum mogelijk de overgang aangeeft naar subzone IX2. Aanwijzingen hiervoor vormen de afname van *Alnus* en *Corylus*, de toename bovenin van *Fagus, Carpinus* en *Quercus*, het eindigen van de *Tilia*kurve en het verder bijna afwezig zijn van kruiden.

De C-14 bepaling van de grijszwarte, matig humeuze, overstoven A1-horizont in dekzand op een diepte van 157-160 cm geeft een ouderdom van 1430 ± 50 B.P. (GrN-6826). Infiltratie van jonger organisch materiaal door het gehele stuifzandpakket wordt vanwege de ongestoorde aard van aanwezige, zeer dunne humeuze laagjes in het stuifzand, zoals te konstateren is in slijpplaten, van weinig belang geacht. Verontreiniging door wortels treedt niet op. Boven de A1-horizont komt echter een 7 cm dik, grijsgeel, humeus stuifzandlaagje voor, van waaruit enige inspoeling van pollen kan hebben plaats gevonden. Om de hier genoemde redenen wordt de ouderdom van het begin van overstuiving van het profiel Hoenderlo geplaatst op een tijdstip weinig jonger dan ca 550 na Chr. en in ieder geval ouder dan de normaal aangetroffen laat-middeleeuwse verstuivingsfase.

*Stadsbos**

Bij de lokatie Stadsbos zijn pollenmonsters verzameld in een groeve in preglaciaal materiaal op de noordelijke flank van de stuwwal van Arnhem. Deze lokatie ligt aan de rand van de westelijke uitloper van het stuifzandgebied van het Rozendaalse Zand. Alhier komen 1-3 m hoge stuifzandheuvels voor op een niet door verstuiving aangetast holtpodsolprofiel in grindrijk materiaal (figuur 10.13).
Voor deze lokatie geldt de volgende materiaalbeschrijving:
+5 - 0cm:
strooisellaag
0 - 15 cm:
mikropodsol in grijsbruin, leemarm, matig humeus, matig fijn stuifzand
15 - 120 cm:
laagsgewijze afwisseling van geelbruin, ten dele horizontaal ten dele scheef gelaagd, leemarm,

*Door de afdeling paleobotanie van de Stichting voor Bodemkartering is het pollendiagram Valkenhuizen II vervaardigd van een door stuifzand overdekte veenopvulling van een droog dal in de stuwwal van Arnhem op korte afstand ten zuiden van de lokatie Stadsbos.
Dit pollendiagram is het enige bekende, moderne diagram op een stuwwal van de Veluwe, dat bijna het gehele Holoceen beslaat (Maarleveld & De Lange, 1973; Ten Houte de Lange, 1977). Het betreft een 140 cm dik veenpakket, dat van onderen naar boven bestaat uit een meerbodemafzetting en gelaagd zeggeveen, zeggebroekveen en haarmosveen en dat begraven is door een 135 cm dik stuifzandpakket.
De meerbodemafzetting en de veenvorming ving aan omstreeks de overgang Boreaal-Atlanticum en ging door tot in de Late Middeleeuwen.
Het diagram dat een belangrijke uitbreiding van vele niet-boompollen laat zien vanaf het gevorderde Subatlanticum, kan gelden als referentiediagram van de hier gepresenteerde subatlantische pollendiagrammen. Uit het diagram blijkt dat de zones IX en X gekenmerkt worden door sterke toenames van de volgende pollen en sporen: Ericaceae, *Cannabis,* Cerealia (*Secale*-typen), Compositae lig. en tub., Cruciferae, *Fagopyrum,* Gramineae, *Humulus, Plantago Lanc.,* Rubiaceae, *Rumex, Urtica* en Cyperaceae, *Potamogeton, Potentilla,* Ranunculaceae, Typhaceae en *Equisetum, Pteridium, Sphagnum* en in mindere mate *Artemisia, Centaurea,* Papilionaceae, *Plantago major* en *Filipendula.*

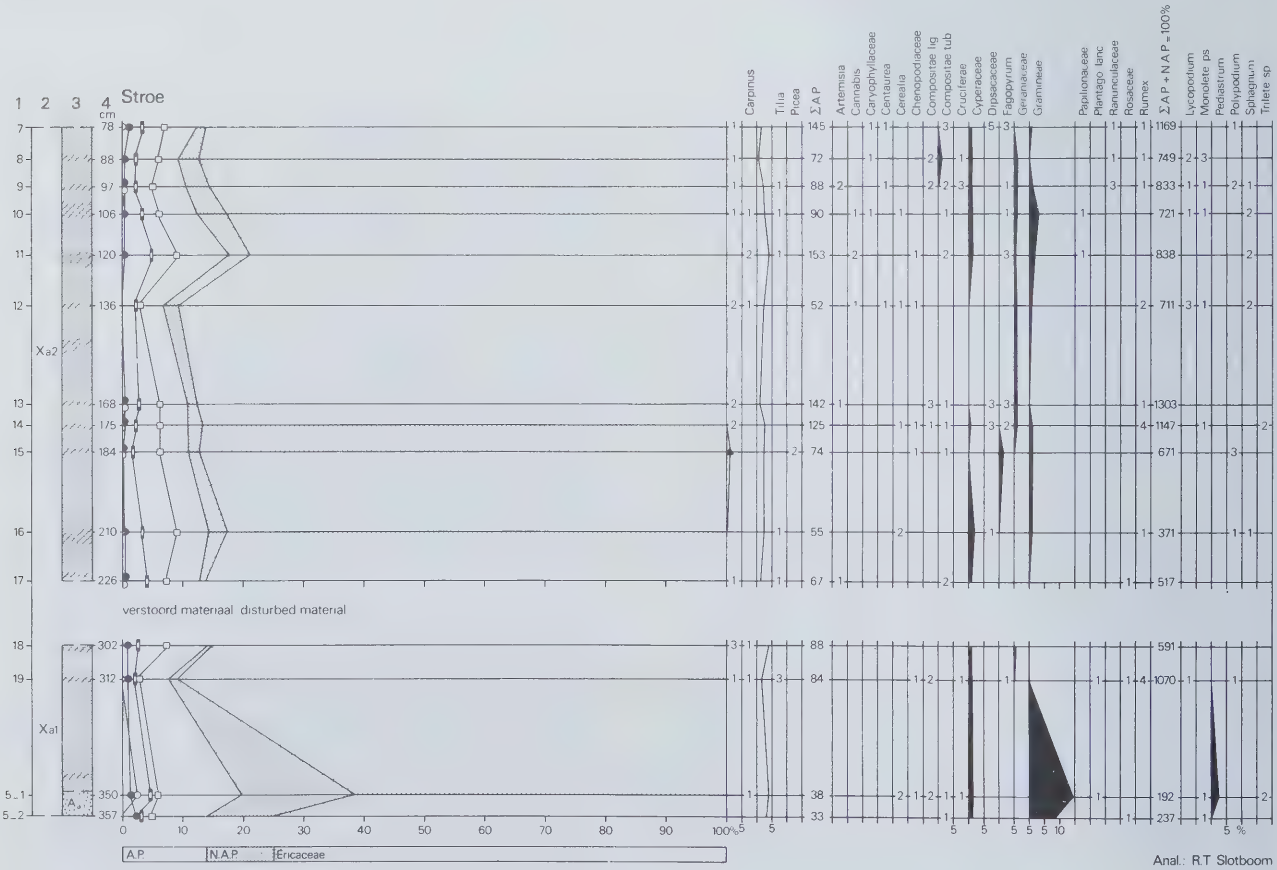
Figuur 10.13
Overstoven bodemprofiel, lokatie Stadbos
'Blown-over' soil profile, location Stadsbos

uiterst tot zeer humusarm, matig fijn tot matig grof stuifzand en enige centimeters dikke humeuze laagjes
120 - 125 cm:
mikropodsol in grijsbruin, leemarm, matig humusarm tot matig humeus, matig fijn stuifzand
125 - 135 cm:
geel, zwak lemig, uiterst tot zeer humusarm, zeer fijn zand
135 - 140 cm IIA1(2):
grijszwart, sterk lemig, humusrijk, matig fijnzandig, grof grindhoudend materiaal
140 - 155 cm IIAB:
grijsbruin, zwak lemig, matig humusarm, matig fijnzandig, grof grindhoudend materiaal
> 155 cm IIB2,3:
bruin tot geelbruin, zwak lemig, zeer humusarm, matig fijnzandig, grof grindhoudend materiaal

Het in figuur 10.12 getekende diagram Stadsbos is min of meer identiek aan het stuifzandgedeelte van het diagram Hoenderlo. Ericaceae zijn wederom sterk dominant. *Fagus, Carpinus* en *Quercus* en de aanwezigheid van diverse kruiden plaatsen het diagram in subzone Xa2. Merkwaardig hierbij is, dat deze jonge pollenspektra tot relatief grote diepte in het holtpodsolprofiel in grindrijk materiaal voorkomen. Zelfs de vorming van dit pollenprofiel in dekzand wijst dus op een jonge ouderdom, hetgeen doet veronderstellen, dat het aanvangstijdstip van overstuiving op deze lokatie, die deel uitmaakt van de smalle stuifzandgordel van het Rozendaalse Zand, eerst in het gevorderde deel van subzone Xa2 geplaatst kan worden. Deze stuifzanden zijn waarschijnlijk niet meer dan enkele eeuwen oud.

Stroe

In een 4 à 5 m hoge stuifzandheuvel, omringd door een uitgestoven laagte in grindhoudend materiaal, in het Stroese Zand zijn alle



Figuur 10.14
Pollendiagram Stroe

wat dikkere, humeuze laagjes bemonsterd voor pollenonderzoek. De humeuze laagjes verlopen over het algemeen konform het oppervlak van deze, in diameter slechts enkele tientallen meters grote, stuifzandheuvel. Het stuifzandprofiel is echter op enkele plaatsen door graafgangen verstoord. Bij de bespreking van het mikromorfologisch onderzoek van enkele van deze humeuze laagjes in hoofdstuk 9 zijn de materiaaleigenschappen van dit stuifzandprofiel beproken. De geanalyseerde humeuze laagjes waren relatief arm aan boompollen.

De zeer hoge percentages Ericaceae en de afwezigheid van enige verandering van betekenis in het pollenbeeld (figuur 10.14) zijn, evenals in het diagram Terlet en het stuifzandgedeelte van diagram Hoenderlo, het meest opvallende kenmerk. Op grond van dezelfde kriteria, die gelden voor de twee hiervoor genoemde diagrammen, wordt het diagram Stroe in zijn geheel geplaatst in de subzones Xa1 en Xa2. Een nauwkeuriger datering is wegens gebrek aan differentiërende kenmerken niet mogelijk. Omdat uit het slijpplaatonderzoek bleek, dat de humeuze lagen op zijn minst ten dele bestaan uit lokaal verstoven bodemprofielmateriaal kan niet uitgemaakt worden of de uniformiteit in het pollenbeeld door het stuifzandprofiel het gevolg is van een bijmenging met pollen afkomstig van het oorspronkelijk oppervlak in de direkte omgeving of het gevolg is van een snelle akkumulatie van stuifzand.

Otterlo

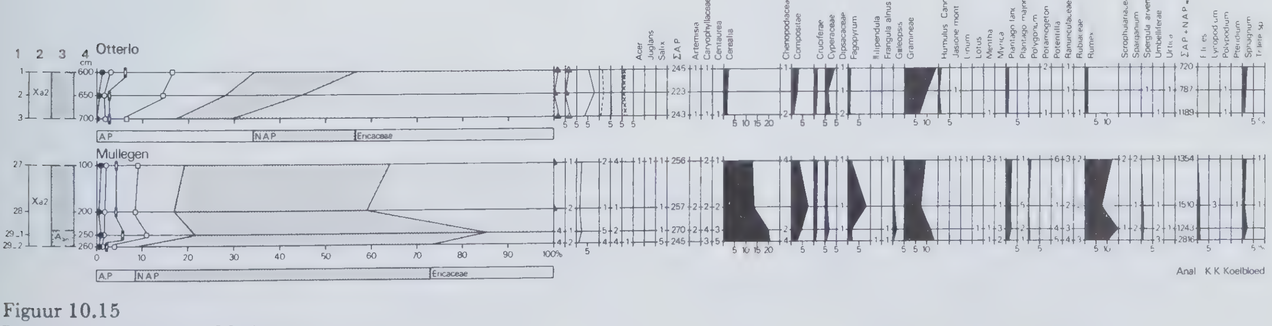
De pollenmonsters voor de spektra Otterlo (figuur 10.15) zijn afkomstig van enige centimeters dikke, humeuze stuifzandlaagjes aan de basis van het noordelijk deel van een randwalduin rondom het Otterlose Bos nabij de Zanding op dieptes van globaal 6, 6,5 en 7 m - m.v. Datering van deze laagjes levert een maximale ouderdom van het begin van de akkumulatie van het randwalduin. In het randwalduin komt ter plaatse van de monstername een laagte voor; ter weerszijden hiervan bereikt het duin een hoogte tot ca 15 m. Voor een uitvoeriger beschrijving van dit gebied wordt verwezen naar paragraaf 11.4 en Koster (1968).

De spektra van de lokatie Otterlo (figuur 10.15) wijzen ondermeer gezien de percentages *Tilia*, Cerealia *(Secale)*, *Fagopyrum* en *Humulus* en of *Cannabis* en de aanwezigheid van *Centaurea cyanus* op een vorming tijdens subzone Xa2. Tijdens de akkumulatie van stuifzand aan de basis van het randwalduin neemt de invloed van Ericaceae kennelijk af.

Mullegen

De pollenmonsters voor de spektra Mullegen (figuur 10.15) zijn genomen in een doorsnijding van een 2,5-5 m hoge stuifdijk langs de Vreeweg nabij Mullegen (figuur 11.9). Deze rug vormt de noordelijke begrenzing van het stuifzandgebied Achter de Vree. Direkt ten noorden hiervan komen zwarte enkeerdgronden voor op duidelijk ontwikkelde, ZW-NO georiënteerde dekzandruggen. De rug blijkt in dwarsdoorsnede opgebouwd te zijn uit tweezijdig afhellende, leemarme, matig fijne stuifzandlagen, waarbij de gelaagdheid vooral gemarkeerd wordt door talloze tot enige centimeters dikke humeuze laagjes. Op dieptes van ca 1 en 2 m - m.v. zijn dikke humeuze laagjes bemonsterd. Aan de basis komt een tot 80 cm dik, zwak lemig, matig fijnzandig, zwart oud bouwlanddek voor, terwijl de onderste 15 cm stuifzand matig humeus ontwikkeld is. Op de grens van het overstoven bouwlanddek en het stuifzand op een diepte van ca 2,5 m - m.v. is het materiaal tevens bemonsterd.

Het grote aantal humeuze laagjes in het stuifzandpakket is op zijn minst voor een deel ontstaan door instuiving van humeus materiaal afkomstig van de oppervlakte in de direkte omgeving. Een aanwijzing hiervoor vormt het feit, dat de opbouw en gelaagdheid in het stuifzandprofiel en de aard van de humeuze laagjes zelf identiek is aan die van het in hoofdstuk 9 besproken stuifzandprofiel in het Stroese Zand, waarvan door mikromorfologische analyse kwam vast te staan, dat instuiving van humeus materiaal voor een deel debet was aan de vorming van deze laagjes.



Figuur 10.15
Pollendiagram Otterlo, Mullegen

De spektra van deze lokatie worden afgezien van de Ericaceae vooral gekenmerkt door hoge percentages niet-boompollen van met name Cerealia, Compositae, *Fagopyrum*, *Galeopsis*, Gramineae en *Rumex*, hetgeen niet verwonderlijk is gezien de direkte nabijheid van oude bouwlandgronden. De spektra vertegenwoordigen het gevorderde deel van subzone Xa2. Nauwkeuriger dateren van het moment van overstuiving en akkumulatie van de stuifzandrug is echter niet mogelijk.

Behalve de hier besproken stuifzandprofielen zijn nog diverse spektra geteld en diagrammen vervaardigd van de onderste centimeters in stuifzandpakketten en de bovenste centimeters van overstoven podsolen in dekzand in stuifzandheuvels in het Spelderholt nabij de Schansenberg, bij Woeste Hoeve, in de Kootwijkerduinen, nabij het Kootwijkse Veen en op diverse plaatsen in het Leuvenumse Bos. In al deze gevallen wees het pollenbeeld in vergelijking met de besproken diagrammen op een aanvang van de overstuiving na het begin van de Late Middeleeuwen.

10.5 Konklusies

10.5.1 Ouderdom

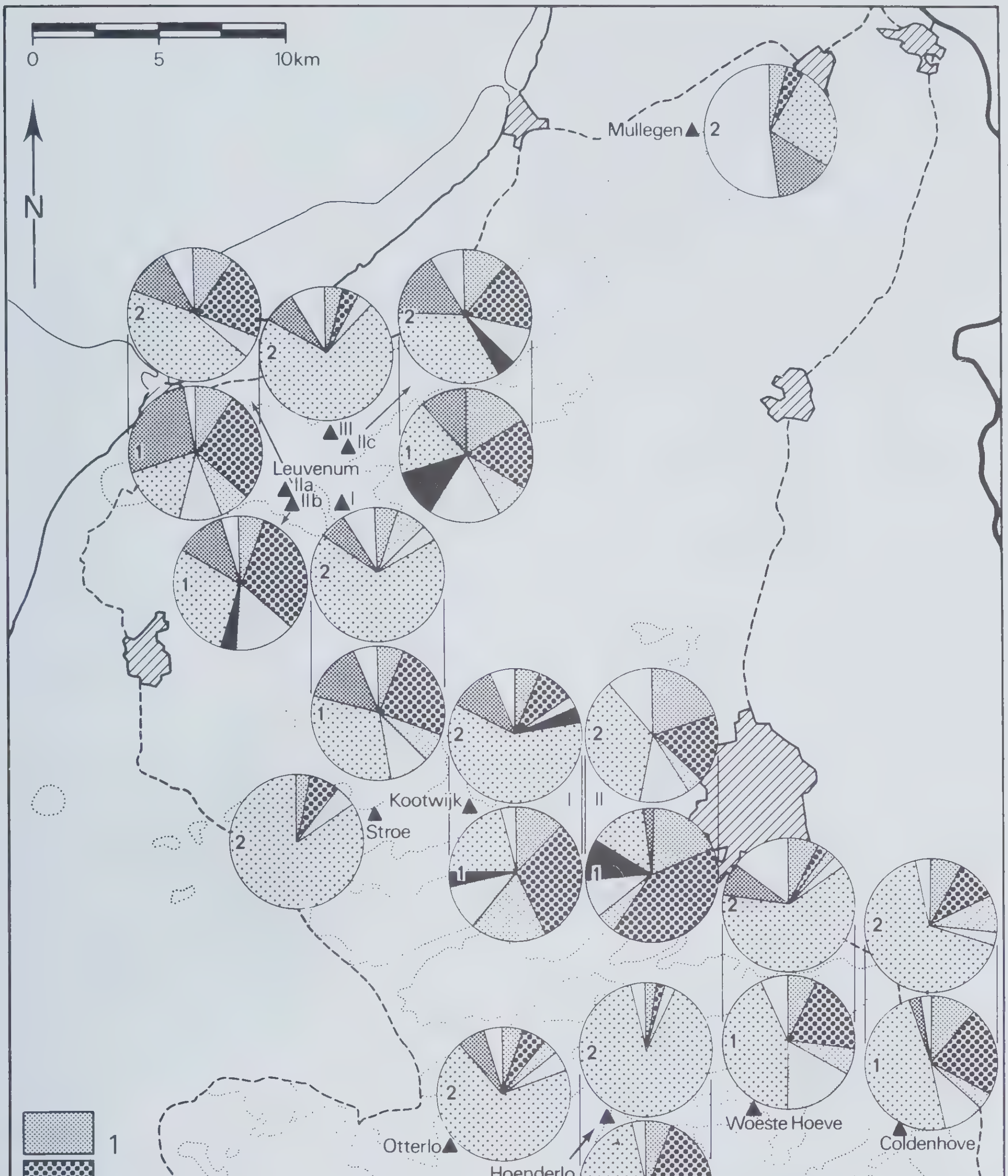
Op grond van de in de vorige paragraaf besproken pollendiagrammen wordt gekonkludeerd, dat het merendeel van de Veluwse stuifzanden ontstaan is in de tijd na 1150 à 1250 na Chr. Dit valt ongeveer samen met het begin van de in de pollendiagrammen herkenbare subzone Xa2. Op de onderzochte lokaties van het Kootwijkse Veen, het Leuvenumse Bos, Coldenhove en Woeste Hoeve eindigt dan de veenvorming door overstuiving. De pollendiagrammen van de lokaties Stroe en Otterlo wijzen op aanvang van de overstuiving ergens in subzone Xa2, terwijl de pollendiagrammen van de lokaties Terlet; Stadsbos en Mullegen wijzen op overstuiving eerst in het gevorderde deel van subzone Xa2. Alleen in de pollendiagrammen van de lokaties Kootwijk I, Leuvenumse Bos IIb en Hoenderlo zijn aanwijzingen gevonden voor het lokaal optreden van zandverstuivingen in de Vroege Middeleeuwen. In de literatuur zijn overigens ook elders in Nederland en België voorkomende oudere stuifzanden beschreven (zie paragraaf 3.3.4). De tijd tussen 100 à 250 na Chr. - 1150 à 1250 na Chr., die de subzones IX2, IX3 en Xa1 omvat, wordt op enkele plaatsen gekenmerkt door veenvorming in afvoerloze laagten in dekzand.

De stuifzanden van voor het begin van de Late Middeleeuwen worden in tegenstelling tot de latere stuifzanden gekenmerkt door de aanwezigheid van een min of meer volledig ontwikkeld podsolprofiel. Wat de overige materiaaleigenschappen betreft zijn geen verschillen geconstateerd. De lithostratigrafische benaming Formatie van Kootwijk voor holocene, overwegend van na het begin van de Middeleeuwen stammende stuifzanden, is reeds ingevoerd door Zagwijn & Van Staalduinen (1975). Uit het hier beschreven onderzoek kan gekonkludeerd worden, dat de stuifzanden van na het begin van de Late Middeleeuwen in verbreiding en sedimentdikte veruit domineren ten opzichte van stuifzanden van eerdere datum. Dit geldt in ieder geval voor de Veluwe en naar uit incidentele, vergelijkende veldonderzoeken op vele stuifzandlokaties elders in Nederland en in de aangrenzende delen van België en de Bondsrepubliek Duitsland bleek, waarschijnlijk ook voor de stuifzanden in deze gebieden. Na bestudering van de literatuur en herwaardering van de, wat datering aangaat, verouderde interpretaties, komt men voor deze gebieden tot dezelfde konklusie.

10.5.2 Vegetatie-ontwikkeling en invloed van de mens

Op basis van de besproken pollendiagrammen van de diverse Veluwse stuifzandlokaties en de voor deze diagrammen opgestelde (sub)zonering is het mogelijk een globale indruk te geven van de vegetatieveranderingen tussen tijdstippen voor en tijdens of kort na de aanvang van de belangrijkste laat-middeleeuwse verstuivingsfase en van de regionale verbreiding van de vegetatie (figuur 10.16). Hiertoe zijn de volgende tijdstippen, die in de meeste diagrammen met grote waarschijnlijkheid vastgelegd konden worden, gekozen: 1. ca 8e eeuw, op de grens van de subzones IX2 en IX3, of indien deze overgang niet voorkomt in een diagram, is het jongste aanwezige spektrum van subzone IX2 gekozen; 2. ca 13e eeuw, op de grens van de subzones Xa1 en Xa2, of indien deze overgang niet voorkomt in een diagram, is het oudste aanwezige spektrum van subzone Xa2 gekozen. De procentuele verdeling van de belangrijkste boompollen, de Ericaceae, Gramineae en overige niet-boompollen zijn voorzover mogelijk voor beide tijdstippen met behulp van cirkeldiagrammen voor de diverse lokaties aangegeven in een samengestelde, fossiele vegetatiekaart (in navolging van Faegri & Iversen, 1966).

Bij de interpretatie van deze kaart gelden de volgende overwegingen en beperkingen: a. de mate van betrouwbaarheid van de gekozen spektra wat datering aangaat; b. de cirkeldiagrammen geven de verdeling van de pollentypen weer en niet die van de vegetatie; c. de lokaties betreffen venen zowel als bodemprofielen, hetgeen naast faktoren als pollenproduktie,- verspreiding en -korrosie de representativiteit van de verdeling van de pollentypen voor de overwe-



Figuur 10.16

Begroeiing op de Veluwe gedurende delen van het Subatlanticum aan de hand van pollenspektra
Vegetation in the Veluwe during parts of the Subatlantic based on pollen spectra
fase/phase 2 - ca 13e eeuw op de grens van subzone Xa1-Xa2 (of iets later)/app. 13th century at the transition of subzone Xa1-Xa2 (or somewhat later)
fase/phase 1 - ca 8e eeuw op de grens van subzone IX2-IX3 (of iets eerder)/app. 8th century at the transition of subzone IX2-IX3 (or somewhat earlier)
1 - *Pinus* + *Betula* + *Corylus*, 2 - *Alnus*, 3 - *Fagus* + *Carpinus*, 4 - *Quercus*, 5 - overige/other AP, 6 - Ericaceae, 7 - Gramineae, 8 - overige/other NAP

gend regionale of lokale vegetatie beïnvloedt. Niettegenstaande deze genoemde beperkingen illustreert figuur 10.16 duidelijk een belangrijke verandering in vegetatie tussen de tijdstippen rond de 8e (fase 1) en de 13e eeuw (fase 2). In alle gevallen neemt de invloed van de boompollen van fase 1 naar fase 2 af van 40 à 80% tot 10 à 40%. Procentueel wordt deze teruggang vooral veroorzaakt door afnames van *Alnus, Fagus, Carpinus* en *Quercus*. Gedurende fase 1 was kennelijk het tamelijk rijke, gemengde loofbos nog een belangrijk bestanddeel van de vegetatie van zowel de lagere als de hogere delen van de Veluwe. Het percentage *Alnus*pollen, dat ook op de hoogste en droogste lokaties op de stuwwal wordt aangetroffen, is mogelijk voor een deel afkomstig van de laaggelegen, natte randzones van de Veluwe. Het zal ook afkomstig zijn van hout- en wildwallen, waarin de els wel werd aangepast (Van der Loeff, 1948). *Fagus, Carpinus* en *Quercus* zullen deel uitgemaakt hebben van het bos ter plaatse. De lokaties Kootwijk I en II vallen op door de hoogste boompollenpercentages, hetgeen gezien de standplaats ook niet verwonderlijk is. De voor Ericaceae relatief lage percentages tijdens fase 1 wijzen op de afwezigheid van grote open heidevelden, misschien met uitzondering van de lokatie Hoenderlo. De invloed van de Gramineae en overige niet-boompollen is gering tijdens fase 1 met uitzondering van de lokaties in het laaggelegen gebied van het Leuvenumse Bos.

Ten tijde van fase 2 zijn vooral de percentages Ericaceae sterk toegenomen ten koste van de boompollen. De zeer hoge Ericaceae, Gramineae en overige niet-boompollen percentages wijzen op de aanwezigheid van een veel meer open vegetatie, waarvan open heidevelden deel zullen hebben uitgemaakt, en op een sterk toegenomen beïnvloeding van de vegetatie door de mens. De uitzonderlijk hoge percentages overige niet-boompollen bij de lokatie Mullegen wijzen op landbouwgronden in de direkte omgeving. De cirkeldiagrammen van de lokaties Leuvenum III, Stroe, Otterlo, Terlet en Stadsbos vertegenwoordigen het kenmerkende pollenbeeld, dat min of meer onveranderd blijft gedurende subzone Xa2. Alleen de lokatie Kootwijk II langs de rand van het Kootwijkse Veen bezit tijdens fase 2 nog een boompollenpercentage van iets meer dan 50%.

De opvatting, dat het gehele areaal waar thans stuifzanden voorkomen kort voor de verstuiving begroeid was met heidevelden en plaatselijk eiken (Hesselink, 1926), wordt als verouderd beschouwd. Het optreden van de op enkele plaatsen onderzochte veenvorming in afvoerloze depressies in dekzand is in verband gebracht met de bodemprofielontwikkeling. De veenvorming op deze plaatsen ving aan bij het begin van subzone IX2. Het is niet zeker of hier ook sprake is van een klimatologische invloed. De door Waterbolk (1954), Waterbolk & Van Andel (1951) en Slicher van Bath (1960) genoemde drogere periode tijdens de Romeinse tijd, vanaf de 3e eeuw overgaande in een vochtiger periode, is hier overigens niet mee in tegenspraak. Ook Van Geel (1976) konstateerde een drogere tijd tussen 300 v. Chr. en 50 na Chr., gevolgd door een vochtiger periode.

Samenvattend kan gesteld worden, dat tegen het einde van de veengroei in depressies in dekzand en kort voor de aanvang van de overstuiving, omstreeks de overgang van subzone Xa1 naar Xa2, een sterke toename van de Ericaceae optreedt, samengaande met een afname van bijna alle boompollen en een gelijktijdige of kort hierna optredende toename van grassen en vele indikatoren van landbouwaktiviteiten. De gedateerde aanvang van de meeste zandverstuivingen bij het begin van subzone Xa2 (omstreeks 1150 à 1250 na Chr.) is in overeenstemming met de gegevens van Slicher van Bath (1960) en Wartena (1974/75).

10.6 Ontstaan van stuifzanden en de duinafzettingen langs de kust

Teneinde een vergelijking te kunnen maken wat betreft chronologie van Nederlandse kustduinen en stuifzanden wordt in beknopte vorm een overzicht gegeven van kustduinvorming volgens onderzoek van Jelgersma & Van Regteren Altena (1969), Jelgersma et al. (1970) en Zagwijn (1971); zie tevens figuur 3.4. De vorming van de Oude Duinen door verstuiving van opeenvolgende strandwalreeksen vond plaats in diverse fasen vanaf ca 2800 v. Chr. tot omstreeks het jaar 0.

Perioden met bodem- en veenvorming wisselden af met perioden met eolische sedimentatie. Inaktieve fasen zijn voor een belangrijk deel synchroon met bekende transgressiefasen. Een verklaring voor de gevonden afwisseling wordt dan ook voornamelijk gezocht in klimaatschommelingen. Tussen het begin van de jaartelling en de 12e eeuw vond praktisch geen duinvorming plaats, behalve lokale resedimentaties van materiaal in de 8e eeuw. Deze periode tussen de Oude en Jonge Duin Afzettingen wordt gekenmerkt door een goed ontwikkeld podsolprofiel, dat lateraal over kan gaan in veen. Door ontbossing aangezet vond de vorming van de Jonge Duin Afzettingen plaats vanaf het begin van de 12e eeuw, wederom in enige fasen.

Afgezien van de aanwijsbare menselijke invloed op het ontstaan en de verbreiding van de Jonge Duin Afzettingen wordt door Jelgersma et al. (1970) toch ook gewezen op een versterkte kusterosie — mogelijk beïnvloed door een veran-

dering in het klimaat — waardoor grote hoeveelheden sediment beschikbaar kwamen voor eolisch transport. Een verband met de toename van de sedimentlast in de grote rivieren als gevolg van de bedijkingen (De Jong, 1972) en transport van dit sediment naar zee en vervolgens langs de kust, lijkt minstens zo aannemelijk.

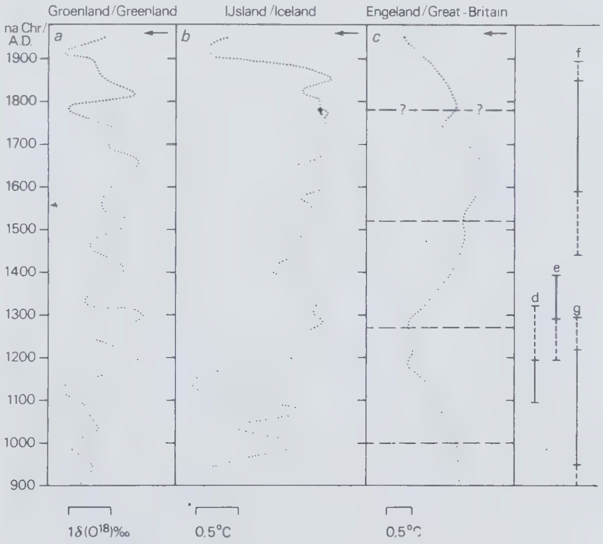
De eerste fase, onder relatief droge klimatologische omstandigheden (in de 12e eeuw), heeft niet veel meer gedaan dan het afvlakken van de Oude Duinen. De tweede fase (12e - 14e eeuw) resulteerde in een horizontaal gelaagd zandkomplex, afgezet onder relatief vochtige kondities. De derde fase, waarin het maximale zandtransport plaats vond en waarin het huidige duinreliëf is ontstaan, viel in de 15e en 16e eeuw. In de 18e eeuw wordt nog een vierde fase onderscheiden, waarbij slechts lokale resedimentatie van materiaal optrad. Deze laatste fase is door Jelgersma et al. (1970) gerelateerd aan de aanvang van een droger tijdvak aan het einde van de 18e eeuw (vergelijk Labrijn, 1945). Palynologisch onderzoek wees uit, dat de invloed van de mens merkbaar is in het gehele Subatlanticum, maar eerst vanaf de Late Middeleeuwen bepaalde deze de duinvorming.

Aangenomen wordt, dat de met de neolitische en bronstijdbewoning samenhangende ontginningsaktiviteit op de Veluwe niet zeer groot is geweest. Stuifzanden uit deze tijd zijn althans bij dit onderzoek niet aangetroffen. Vanaf de eerste eeuwen na het begin van de jaartelling tot in het begin van de Late Middeleeuwen vond op de Veluwe in depressies veenvorming plaats en slechts lokaal verstuiving van materiaal, net zoals dat het geval was in de kustduingebieden. De aanvang van de grote laat-middeleeuwse verstuivingen in de 12e en 13 eeuw valt samen met de eerste vorming van de Jonge Duinen. Archivalische gegevens wijzen op uitbreidingen van de zandverstuivingen in de 16e en 18e eeuw (schrift.meded. R. Wartena, 1970), hetgeen eveneens in overeenstemming is met de gegevens van het kustduinonderzoek. Met het bovenstaande wordt een nauwe verwantschap gesuggereerd tussen de vorming van de Veluwse stuifzanden en de Jonge Duin Afzettingen langs de kust.

10.7 Klimaatschommelingen in het Subatlanticum

De in vele subatlantische pollendiagrammen korreleerbare en over grotere gebieden synchroon optredende vegetatieveranderingen, die samen kunnen hangen met veranderingen in het klimaat, blijken ook langs andere dan pollenanalytische weg in grote lijnen bevestigd te kunnen worden (Lamb, 1977). Helaas bestaat er voorzover bekend geen Nederlandse literatuur over de klimaatontwikkeling gedurende het gevorderde Subatlanticum, waardoor naar buitenlandse literatuur gezocht moet worden met de daaraan verbonden bezwaren van korrelaties over grote afstanden. Omdat behandeling van dit onderwerp grotendeels buiten het bestek van deze studie valt, wordt hierop slechts summier ingegaan. Speciaal wordt de aandacht gevestigd op het, in de kust- en landduinstudies, belangrijke tijdvak in het midden van de Late Middeleeuwen. Gezien het gevoelige evenwicht, dat bestaat in duingebieden tussen stabilisatie en transport annex afzetting van materiaal, is het te verwachten dat klimaatschommelingen van relatief geringe betekenis dit evenwicht reeds kunnen verstoren, net zoals dat het geval is in andere gebieden met marginale kondities. Op grond van de klimatologische rekonstrukties van diverse origine door Brooks (1950), Anonymus (1962), Lamb (1964, 1965 en 1966), Bergthorsson (1969), Dansgaard et al. (1969, 1971), Le Roy Ladurie (1971) en Aaby (1976) is figuur 10.17 samengesteld, waarin gegevens over temperatuurvariaties vanaf de Middeleeuwen samengevat zijn.

Alhoewel de in figuur 10.17 samengevatte gegevens van verschillende herkomst zijn en de mate van betrouwbaarheid van de gegevens niet vergelijkbaar is, blijkt desalniettemin, dat in de tweede helft van de 12e en in, tot kort na de 13e eeuw een relatief belangrijke verandering van het klimaat op de 55 à 65e breedtegraad heeft plaatsgevonden. De kurven a, b en c heb-



Figuur 10.17
Temperatuurvariaties vanaf de Middeleeuwen
Temperature variations since the Middle Ages

a - (temperatuur afhankelijke) variaties in de $0^{18}/0^{16}$ verhouding, volgens Dansgaard et al. (1969)
(temperature dependent) variations in the $0^{18}/0^{16}$ ratio, after Dansgaard et al. (1969)

b - variaties in de gemiddelde jaartemperatuur, volgens Bergthorsson (1969)
variations in the average annual temperature, after Bergthorsson (1969)

c - variaties in de gemiddelde jaartemperatuur, volgens Lamb

(1966); Aaby (1976) konstateerde in Deense oligotrofe venen belangrijke veranderingen in veenvorming op de aangegeven tijdstippen (-----), die hij relateert aan de temperatuurkurve van Lamb. Deze tijdstippen markeren globaal het begin en het einde van het 'little climatic optimum' en van de 'little ice age'

variations in the average annual temperature, after Lamb (1966); Aaby (1976) found important changes in peat formation in Danish oligotrophic peat-bogs at the indicated times (-----), which he correlates with the temperature curve from Lamb. These points of time roughly mark the beginning and the ending of the 'little climatic optimum' and of the 'little ice age'

d - relatief droge periode, volgens Lamb (1964, 1965) en Le Roy Ladurie (1971)
relatively dry period, after Lamb (1964, 1965) and Le Roy Ladurie (1971)

e - periode van klimatologische instabiliteit en grote stormaktiviteit, volgens Lamb (1966) en Brooks (1950)
period of climatic instability and large storm activity, after Lamb(1966) and Brooks (1950)

f - 'little ice age', volgens diverse auteurs/after various authors

g - 'little (secondary) climatic optimum', volgens diverse auteurs/after various authors

in a, b en c geven de pijltjes de richting van toename van de temperatuur aan/
in a, b and c the arrows indicate the direction of increasing temperature

in d, e, f en g geven de ononderbroken lijnstukken de communis opinio weer/
in d, e, f and g the uninterrupted lines indicate the communis opinio

ben betrekking op onderzoek verricht te Groenland, respektievelijk IJsland en Engeland. De tijd volgend op het middeleeuwse, warmere en vooral wat het laatste deel betreft ook drogere 'sekundaire klimatologische optimum', overwegend gedateerd van ca 950-1225 na Chr., wordt gekenmerkt door lagere temperaturen. De afname van de neerslaghoeveelheden na ca 1300, die door Lamb (1966) wordt aangenomen, wordt overigens tegengesproken door andere auteurs. De klimaatsverandering zet zich voort tot en met de 'kleine ijstijd' of Fernau fase, die veelal van ca 1600-1850 gedateerd wordt met als hoogtepunt de tijd rond 1750. Eerst na ca 1850 zet zich weer een klimaatsverandering in met hogere temperaturen en neerslaghoeveelheden tot een optimum in de eerste helft van deze eeuw. Overigens wordt ook in de Vroege Middeleeuwen van ca 700-900 na Chr. een met de 'kleine ijstijd' vergelijkbare, koudere tijd onderscheiden, die echter van kortere duur en van geringere betekenis is geweest (Denton & Karlén, 1973).

Terugkomend op de oorspronkelijke vraagstelling of de zonering in pollendiagrammen en daarmee gekoppeld het optreden van verstuivingen in kustduin- en stuifzandgebieden, mede gebonden kan zijn aan klimatologische veranderingen, wordt gekonkludeerd dat het samenvallen van de aanvang van Jonge Duin Afzettingen en de meerderheid van de Veluwse stuifzanden en het optreden van een verandering in klimatologische kondities oorzakelijk verbonden is, zonder dat duidelijk is welke klimaatsfaktoren het zandtransport door wind bevorderd hebben. De Jong (1972) stelt in dit verband het volgende: 'Dat de verstuivingen in een tijd plaatsvonden waarin zowel in Nederland als ook in naburige gebieden van een verhoogde stormfrequentie sprake was, en dus klimatologisch bepaald zijn, doet aan het in aanleg antropogene karakter van de oorzaak niets af'. Het optreden van perioden met verhoogde storm- of stormvloedaktiviteit wordt wel meer als verklaring gegeven voor het optreden van land- en kustduinvorming. Aangezien men echter wel als indikatie voor perioden met verhoogde stormaktiviteit het plaatsvinden van verstuivingen heeft gebruikt, vervalt men hier al gauw in cirkelredeneringen. De speciale betekenis, die gehecht werd aan het optreden van de laat-middeleeuwse transgressiefase met veronderstelde, verhoogde stormvloedaktiviteit in de 13e, 14e en 15e eeuw is afdoende weerlegd door Gottschalk (1971, 1975). Het tweede deel van de Jong's (1972) bewering, over het in aanleg antropogene karakter van de oorzaak van verstuiving, is zonder twijfel juist.

11 GEOMORFOLOGIE

11.1 De ondergrond van de Veluwse stuifzanden

Voor een overzicht van de geomorfologische gesteldheid van de Veluwe en omgeving is figuur 11.1 vervaardigd volgens de nieuwste gegevens. Op deze kaart zijn de belangrijkste geomorfologische eenheden van de Veluwe onderscheiden in samenhang met de bijbehorende afzettingen. De omgrenzing van de Veluwe is overgenomen van de onlangs door de Stichting voor Bodemkartering vervaardigde kaarten ten behoeve van de milieukartering van de Veluwe. Appendix 2 toont het verband tussen het hoogtelijnenpatroon en deze omgrenzing. Deze grens, die globaal samenvalt met wat als de landschappelijke grens van de Veluwe beschouwd wordt (Maarleveld & Van der Schans, 1961), is om praktische redenen veelal langs bestaande wegen getrokken.

De stuifzanden op de Noord-Veluwe liggen voor de opening van het glaciale tongbekken van de Vallei van de Leuvenumse Beek en langs de flanken van de stuwwallen van de Woldberg, de Stakenberg en Garderen. Langs de noordflank van de stuwwal van de Woldberg liggen de stuifzanden tegen sedimenten op van het kame-terras. In de Vallei van de Leuvenumse Beek bestaat de ondergrond uit dekzanden en grindhoudende fluvio-periglaciale afzettingen afkomstig van de aangrenzende delen van de kame-terrassen en stuwwallen ter weerszijden van de vallei. De stuifzanden op de Midden-Veluwe liggen grotendeels in een uitloper van het glaciale tongbekken van de Gelderse Vallei, dat begrensd wordt door de stuwwallen van Garderen, Kootwijk, de oostelijke Veluwe en Oud-Reemst. De stuifzanden liggen hier op dekzanden en verspoelde preglaciale afzettingen afkomstig van de stuwwalflanken. Op de Zuidwest-Veluwe liggen kleinere stuifzandgebieden langs de stuwwalflanken van Oud-Reemst en Ede. De Oost- en Zuidoost-Veluwse stuifzanden op de stuwwallen van de oostelijke Veluwe en Arnhem liggen op dekzanden en gestuwde preglaciale afzettingen. Op de sandrvlakte van de zuidelijke Veluwe liggen enkele geïsoleerde stuifzandgebieden.

In figuur 11.1 is tevens de globale ligging van de trechtervormige, droge ijssneeuwsmeltwaterdalen aangegeven, waarvan in enkele gevallen een in oorsprong Saale-ouderdom wordt aangenomen. Uit de in de bijbehorende puinwaaiers voorkomende sedimentsequenties blijkt overigens, dat een belangrijke dalerosie in de Würmtijd is opgetreden. De in de smeltwaterwaaier (sandr) van de zuidelijke Veluwe aangegeven dalrichtingen houden in oorsprong eveneens verband met de afvoer van ijssmeltwater. De stuwwallen, waarvan globaal het patroon van strekkingsrichtingen is aangegeven, zijn op vele plaatsen gedurende het Onder- en Boven-Pleniglaciaal voornamelijk door de afvoer van sneeuwsmeltwater versneden. De thans droge sneeuwsmeltwaterdalen konden door hun afmetingen en het ingewikkelde patroon niet in figuur 11.1 aangegeven worden, maar kunnen grotendeels herleid worden uit het hoogtelijnenbeeld in appendix 2.

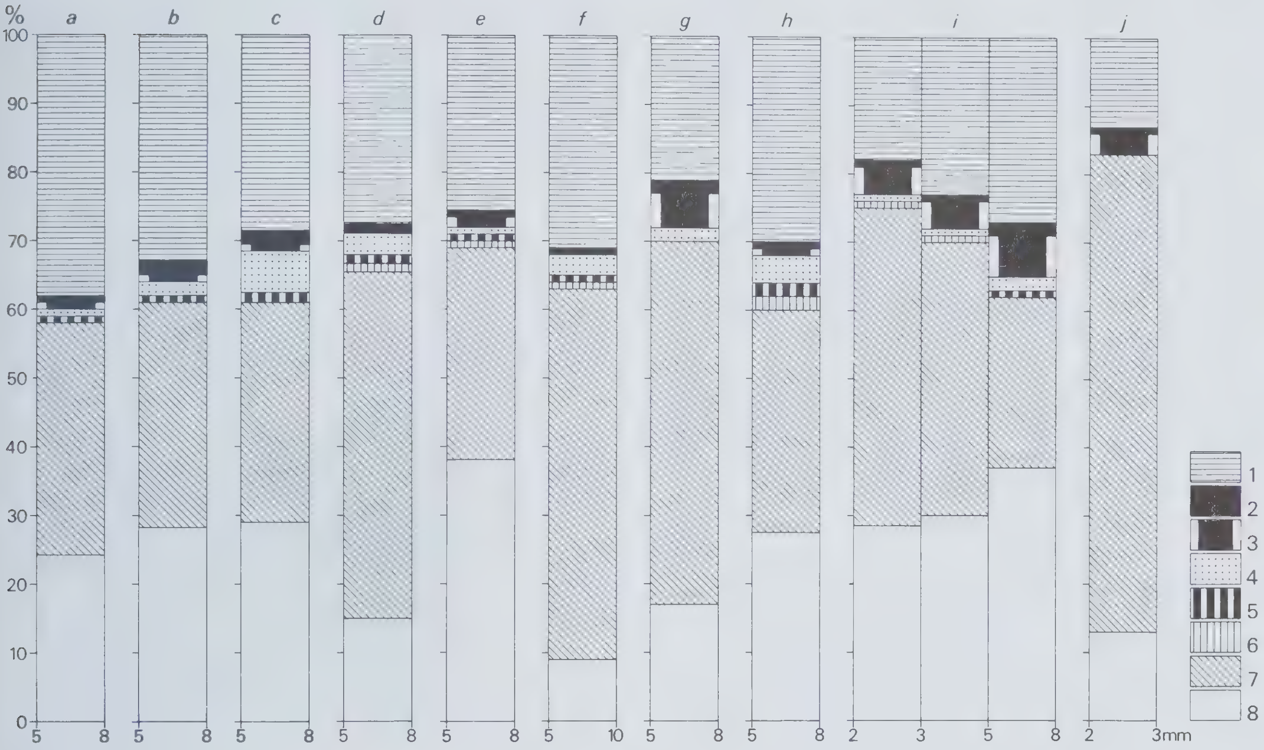
Op de stuwwal van de oostelijke Veluwe wordt in het bijzonder in de dalen tussen Dieren en Velp loess aangetroffen (Vink, 1949). Op de zuidoostelijke Veluwe komt eveneens op enkele plaatsen Ouder Dekzand voor. Jonger Dekzand wordt zowel op de Veluwe als in de aangrenzende gebieden veelvuldig aan de oppervlakte aangetroffen. Voor de genese en ouderdom van de geomorfologische eenheden van de Veluwe en de verbreiding en samenstelling van de hier in de ondergrond voorkomende afzettingen en formaties wordt verder verwezen naar de studies van Maarleveld (1955, 1960, 1962), Edelman & Maarleveld (1958), Zagwijn & Van Staalduinen (1975) en Ten Houte de Lange (1977).

Aangezien op een aantal lokaties, waar materiaalonderzoek is verricht van stuifzandafzettingen, grindhoudende afzettingen aan of nabij de oppervlakte werden aangetroffen, is een aantal tellingen van de grindsamenstelling van deze afzettingen verricht. Deze tellingen zijn gedaan teneinde de betreffende afzettingen te kunnen benoemen als al dan niet verspoelde, preglaciale of fluvio-glaciale sedimenten. Deze benamingen zijn in de voorgaande hoofdstukken gebruikt bij de beschrijvingen van de sedimentopeenvolging op lokaties waar materiaalonderzoek is verricht en ze worden gebruikt bij de beschrijvingen van de geomorfologische studiekarteringen. De lokaties waar grindtellingen van verricht zijn, staan aangegeven in appendix 1 en de resultaten van het grindonderzoek zijn samengevat in figuur 11.2. In de meeste gevallen is de fraktie 5-8 mm onderzocht. In enkele gevallen, vooral bij het onderzoek van deflatielaagjes aan de oppervlakte in uitgestoven laagten, wanneer niet voldoende materiaal van deze fraktie voorradig was, zijn fijnere grindfrakties bestudeerd. Per monster zijn 300 grinddeeltjes geteld. Voor de vervaardiging van figuur 11.2 zijn de per gebied onderzochte monsters samengenomen en gemiddeld. De grindanalyses zijn gedaan volgens de methode Maarleveld (1956):
sub a, b, c en d. Op de Noord-Veluwe zijn de monsters afkomstig van de omgeving van de Ullerberg, het Leuvenumse Bos, de omgeving van

Figuur 11.1
Geomorfologische kaart van de Veluwe en omgeving (samengesteld uit diverse bronnen)
Geomorphological map of the Veluwe and surroundings (compiled from various sources)

1 - overwegend vlak/predominantly flat; mariene afzettingen/marine deposits
2 - overwegend vlak/predominantly flat; fluviatiele afzettingen/fluviatile deposits
3 - vlak tot sterk geaccidenteerd/hills associated with flat areas; stuifzanden/drift sands
4 - vlak tot zwak golvend, op de stuwwallen ten dele sterk geaccidenteerd/flat to gently undulating, on the ice-pushed ridges partly relief with steep very short slopes; dekzanden en overige windafzettingen/cover sands and other eolian deposits

5 - sterk hellend/steeply sloping; gestuwde preglaciale afzettingen met loessbedekking/ice-pushed pre(Saalian) glacial deposits with a loess cover
6 - vlak en waaiervormige glooiingen/flat and fan-shaped low rises; fluvio-periglaciale afzettingen/fluvio-periglacial deposits
7 - zwak tot sterk hellend/gently to steeply sloping (kame-terrassen/kame-terraces); fluvio-glaciale afzettingen/fluvio-glacial deposits
8 - vlak tot zwak hellend/flat to gently sloping (sandr, met dalrichtingen/sandr, with valley directions); fluvio-glaciale afzettingen/fluvio-glacial deposits
9 - zwak tot sterk hellend/gently to steeply sloping (stuwwallen, met strekkingslijnen/ice-pushed ridges, with strike directions); gestuwde preglaciale afzettingen/ice-pushed pre(Saalian)glacial deposits; a - Woldberg, b - Stakenberg, c - Garderen, d - Kootwijk, e - de oostelijke/the eastern Veluwe, f - Oud-Reemst, g - Ede, h - Arnhem
10 - trechtervormige, droge ijs-sneeuwsmeltwaterdalen/funnel-shaped, dry ice-snowmeltwater valleys
11 - bebouwing/built-up area
12 - begrenzing van de Veluwe/boundary of the Veluwe



Figuur 11.2
Samenstelling van enige grindfrakties van afzettingen voorkomende in of nabij Veluwse stuifzandgebieden, op lokaties waarvan de materiaalopeenvolging besproken is.
Composition of gravel fractions of deposits occurring in or near drift sand areas in the Veluwe, at locations for which the sediment sequence is discussed
lokaties en aantal monsters/locations and number of samples: a - omgeving/surroundings Ullerberg (4), b - Leuvenumse Bos (9), c - omgeving/surroundings Stakenberg (5), d - Galgenberg (2), e - Kootwijkse Zand, nabij/near De Dikke Bart (10), f - Kootwijkse Bos (2), g - Stroese Zand, nabij/near Vossen (2), h - Stadsbos (3), i - Mosselse Zand (2), j - Otterlose Zand (2)
1 - restgroep, overwegend zandsteen en kwartsiet/group of other particles, predominantly sandstone and quartzite, 2 - lydiet/lydite, 3 - overwegend niet-gerolde vuursteen/predominantly non-rounded flint, 4 - rest kristallijn/group of other crystalline particles, 5 - porfier/porphyry, 6 - veldspaat (+ kwarts)/feldspar (+ quartz), 7 - doorzichtige kwarts + rest kwarts/transparent quartz + other quartz particles, 8 - melkkwarts/milky quartz

de Stakenberg en van de Galgenberg. Al deze monsters bevatten min of meer gelijke, hoge kwartspercentages en geringe percentages lydiet, vuursteen en porfier. De monsters van de omgeving van de Stakenberg en van de Galgenberg bevatten 3-8% kristallijne deeltjes, terwijl in het centrale deel van de Vallei van de Leuvenumse Beek slechts 2% bereikt wordt. Deze percentages zijn, gezien de toename van glaciale komponenten bij het kame-terras in de richting van het centrum van de vallei, typerend voor de fluvio-periglaciale afzettingen.

sub e en f. De in het Kootwijkse Zand en het Kootwijkse Bos verzamelde grindmonsters zijn afkomstig uit overwegend fijn grind bevattende deflatielaagjes aan de oppervlakte in stuifzand, dat ligt op een uitgestoven laagte in dekzand, en uit grof grindhoudend materiaal op geringe diepte voorkomend in een grote koepelvormige heuvel, genaamd De Dikke Bart. Deze monsters van het Kootwijkse Zand bevatten relatief veel melkkwarts en geringe percentages lydiet en kristallijne deeltjes. Daarnaast werden grijsblauwe, doorzichtige kwartsen gevonden, die kunnen wijzen op oostelijke herkomst en enkele Maas-elementen. De monsters bevatten bovendien nogal wat

baksteen- en aardewerkfragmenten. De Dikke Bart blijkt uit preglaciaal materiaal te bestaan en vormt een opduiking van de onder stuif- en dekzand begraven stuwwal van Kootwijk.
sub g en h. In beide lokaties wijst de grindsamenstelling ongeacht de onderlinge verschillen in de percentages vuursteen, kristallijn, porfier en veldspaat op materiaal afkomstig van preglaciale afzettingen.
sub i en j. Deze monsters zijn afkomstig van deflatielaagjes aan de oppervlakte in de aktieve stuifzandgebieden van het Mosselse en Otterlose Zand. Bij afname van de grootte neemt het kwartspercentage toe. Dit materiaal bevat evenals het materiaal van het Stroese Zand relatief veel donker-grijsblauwe, niet-gerolde vuursteendeeltjes.

In paragraaf 3.2 is bij de bespreking van de verbreiding van de Veluwse stuifzanden een driedeling aangebracht in Noord-, Midden- en Zuidwest-, en Oost- en Zuidoost-Veluwse stuifzandgebieden. Naast faktoren als de vorm en hoogteligging van het oorspronkelijke, voor de verstuiving aanwezige reliëf en de aard van de ondergrond verschillen deze gebieden onderling ook in ligging van het huidige grondwaterniveau ten opzichte van het oppervlak. Op grond van opgaven van het Archief van Grondwaterstanden T.N.O. (waarnemingsperiode overwegend 1955-1965), de isohypsenkaart van het freatisch grondwater van de Veluwe (1 : 200.000, oktober 1962) en gegevens van Reuter & Kouwe (1958) en Volker (1969) is voor een aantal lokaties de globale diepteligging van het grondwaterniveau vastgesteld. In tabel 11.1 zijn deze gegevens samengevat.

Eén van de voorwaarden voor het ontstaan van zandverstuivingen is een relatief diepe ligging van het grondwaterniveau. Uit tabel 11.1 blijkt, dat alleen in enkele laaggelegen delen van de stuifzanden langs de noordelijke Veluwerand, langs de Leuvenumse Beek en in het Wekeromse Zand de relatief ondiepe ligging van het freatisch oppervlak van invloed kan zijn geweest op de vormontwikkeling van het stuifzandreliëf. Een eventuele daling van het grondwater als gevolg van de middeleeuwse ontginningen en daarmee gepaard gaande ontwatering van de zone langs de vroegere IJsselmeerkust en in de aan de Veluwe grenzende delen van de Gelderse Vallei kan op het ontstaan van de meeste Veluwse stuifzandgebieden geen enkele invloed hebben gehad.

lokatie location	hoogte opp. in m +N.A.P. height of surface in m +N.A.P.*	freatisch opp. in m +N.A.P. height of phreatic surface in m +N.A.P.	freatisch opp. in m-m.v. depth of phreatic surface
Noord Veluwe northern Veluwe			
Beekhuizer Zand	11 - 7.5	11 - 6.5	0 - 4
Leuvenumse Bos, noordgrens Leuvenumse Bos, northern part	7.5- 5	7 - 4.5	0.5- 2.5
Leuvenumse Bos, zuidwestgrens Leuvenumse Bos, southwestern part	23 -16	15 - 9.5	4 -10.5
Leuvenumse Bos, oostgrens en Hulshorstse Zand Leuvenumse Bos, eastern part and Hulshorstse Zand	17.5-12.5	9 - 4	8 - 9.5
omgeving Galgenberg neighbourhood Galgenberg	19.5-12.5	6 - 4	9 -13.5
zone langs Leuvenumse Beek zone along the Leuvenumse Beek	15 - 7.5	14.5- 5	0.5- 3.5
gehele stuifzandareaal Leuvenumse Bos, Hulshorstse en Beekhuizer Zand total drift sand area Leuvenumse Bos, Hulshorstse and Beekhuizer Zand	23 - 5	15 - 4	0 -13.5
stuifzandgebied De Zoom, ten N.O. van Nunspeet drift sand area De Zoom, northeast of Nunspeet	10 - 8.5	6 - 5	2.5- 4
Midden- en Zuidwest-Veluwe central and southwestern Veluwe			
Wekeromse Zand	27.5-21	24 -16	2 - 6
Wekeromse Zand, noordgrens Wekeromse Zand, northern part	21 -16	19 -13.5	0.5- 3
Otterlose en Oud-Reemster Zand, Otterlose Bos	40 -27.5	26 -19	7.5-20
oostelijk deel van "De Hoge Veluwe" eastern part of "De Hoge Veluwe"	60 -45	40 -32	14 -24
Oost- en Zuidoost-Veluwe eastern and southeastern Veluwe			
Spelderholt	90 -65	40 -35	27.5-50
Rozendaalse Zand	92.5-75	30 -25	47.5-65

* Dutch datum: approximately mean sea-level

Tabel 11.1 De ligging van het freatisch oppervlak in stuifzandgebieden

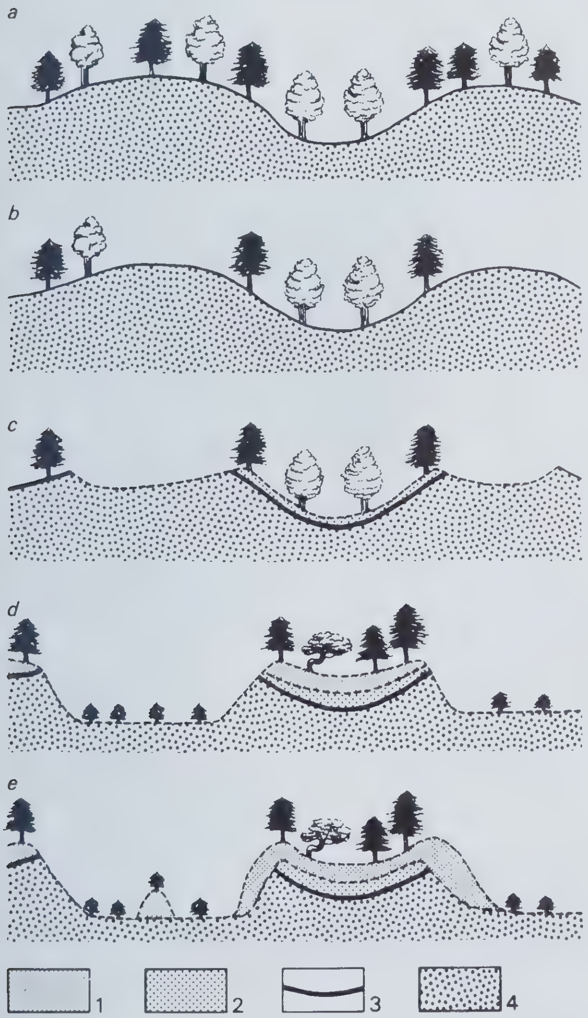
Table 11.1 The position of the phreatic surface in drift sand areas

11.2 Geomorfologische kartering

Op de lokatiekaart van de Veluwe (appendix 1) staan de omgrenzingen aangegeven van de gebieden, waar geomorfologische studiekarteringen verricht zijn. Een geomorfologische kaart dient de omvang, de aard en de genese van de huidige terreinvormen op overzichtelijke wijze weer te geven. Daarnaast moet over de aard van het materiaal, waaruit de terreinvormen bestaan, en over de ouderdom ervan informatie worden verstrekt. Bij de morfografische bespreking in paragraaf 2.2 is een aantal in stuifzandgebieden voorkomende duinvormen besproken en zijn bij de indeling van het stuifzandreliëf in een vijftal eenheden verschillende vormtypen genoemd. Deze eenheden zijn alleen in gunstige gevallen direkt herkenbaar door verschillen in reliëf en vorm en leveren dan ook geen geomorfologisch karteerbare eenheden op. Om deze reden is voor de geomorfologische kartering gekozen voor het aangeven van door reliëf en vorm bepaalde vorm-

typen. Daarnaast is de aard van het materiaal bepalend. Hieronder wordt in dit verband dan verstaan de opeenvolging van sedimenten, de materiaaleigenschappen van de opeenvolgende lagen en de aan- of afwezigheid van bodemprofielen aan de oppervlakte en van overstoven bodemprofielen.

Voor de kartering (opnameschaal 1 : 10.000 of 1 : 25.000) is een gekombineerde morfografisch-morfogenetische legenda (appendix 8) opgesteld. Voor iedere eenheid van het stuifzand- en dekzandreliëf is aangegeven hoe groot het relatieve hoogteverschil is, voorzover dat binnen één kaarteenheid voorkomt en vanuit één waarnemingspunt te overzien is. Voor een aantal legenda-eenheden is tevens de dikte van de bovenste bedekkende laag globaal vastgesteld. Voor de gebruikte eenheden van het stuifzandreliëf is naast de vorm de aan- of afwezigheid van een overstoven bodemprofiel bepalend. In gunstige gevallen is dit herkenbaar aan de aard van de terreinvormen zelf of zijn restanten van dit oorspronkelijke oppervlak zichtbaar op plaatsen waar dit door deflatie aangesneden is. In de niet door stuifzand bedekte gebieden zijn door middel van globaal veldonderzoek grenzen getrokken tussen de eenheden op grond van reliëf en vorm, de bodemprofielontwikkeling en de aard van het materiaal. Als hulpmiddel hierbij werd gelet op het al dan niet voorkomen van grind aan de oppervlakte.



Figuur 11.3
Reliëfinversie bij de ontwikkeling van een dekzand- in een stuifzandgebied (naar Schelling, 1955)
Inversion of the relief during the development of a drift sand landscape from an originally slightly undulating cover sand landscape (after Schelling, 1955)
1 - uiterst/zeer humusarm stuifzand/drift sand extremely/very poor in humus, 2 - mâtig humusarm/matig humeus stuifzand/drift sand moderately poor in humus/moderately humose, 3 - oorspronkelijk oppervlak/original surface, 4 - dekzand/cover sand

Op de geomorfologische kaarten is een onderscheid gemaakt in duidelijke en vage begrenzingen. Daar waar legenda-eenheden met een duidelijk verschil in reliëfontwikkeling aan elkaar grenzen, zijn de nauwkeurig vast te stellen begrenzingen met doorlopende lijnen aangegeven. Vage begrenzingen tussen legenda-eenheden met een min of meer gelijke reliëfontwikkeling zijn met onderbroken lijnen aangegeven.

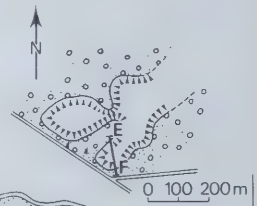
Alhoewel luchtfoto's van de betrokken gebieden bestudeerd zijn, is de interpretatie hiervan voor de overwegend met bos bedekte stuifzandgebieden voor de geomorfologische kaarten van weinig betekenis gebleken. Gezien het over het algemeen zeer onregelmatige stuifzandreliëf en de geringe afmetingen van de afzonderlijke terreinvormen, zoals geïllustreerd werd in figuur 2.1, is het in het veld vervaardigen van gedetailleerde morfometrisch-morfografische kaarten zeer tijdrovend en alleen mogelijk voor kaartschalen groter dan 1 : 10.000. Van aktieve stuifzandgebieden kunnen de reliëfvormen overigens wel in detail weergegeven worden door hoogtelijnenkaarten, die door analyse van voor dit doel opgenomen luchtfoto's vervaardigd kunnen worden, zoals gebleken is bij de karteringswerkzaamheden door het Instituut voor Pre- en Protohistorie van de Universiteit van Amsterdam voor de opgravingen in het Kootwijkse Zand.

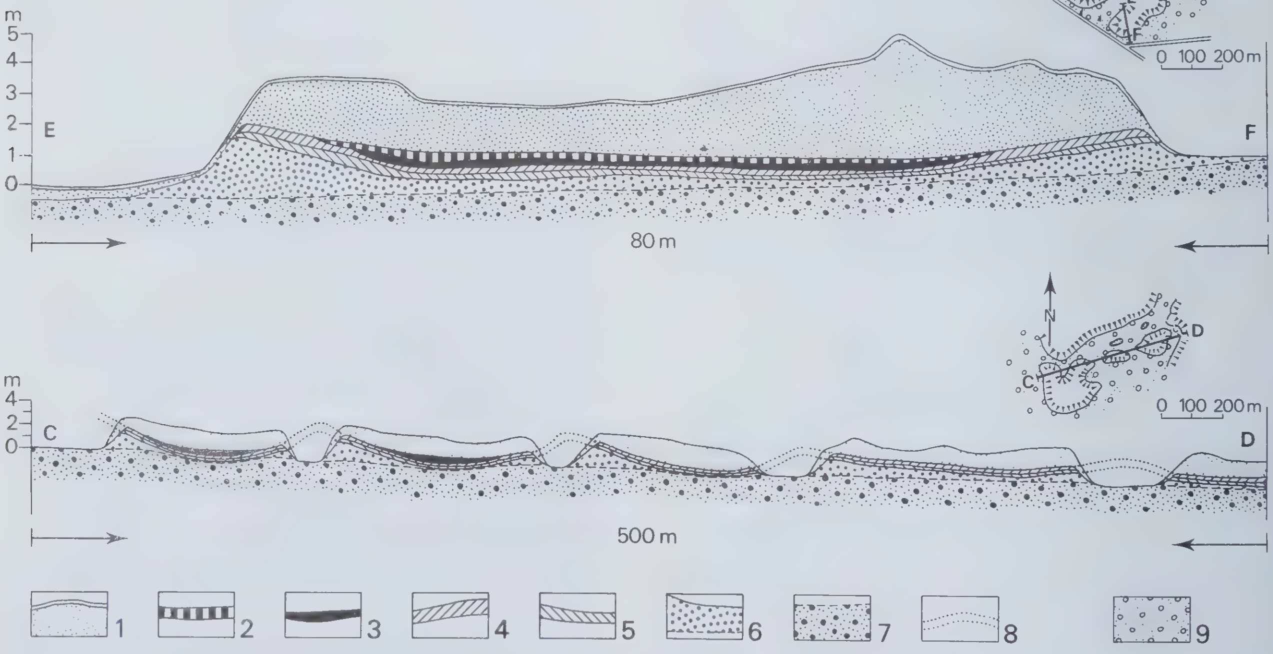
11.3 Morfogenese van een Noord-Veluws, reliëfrijk stuifzandgebied, in het bijzonder van plateaurestduinen

Van een deel van het stuifzandgebied ter weerszijden van de Leuvenumse Beek (top.kaartblad 26 H, 1 : 25.000), dat in het zuiden begrensd wordt door de weg van de Stakenberg via Leuvenum naar Harderwijk en in het noorden door de spoorlijn Harderwijk - Zwolle, is een geomorfologische kaart gemaakt (appendix 9). De reliëfinversie, die plaats kan vinden bij verstuiving van een oorspronkelijk zwak golvend dekzandreliëf (figuur 11.3), wordt in zijn meest typerende vorm op de Veluwe aangetroffen in het Leuvenumse Bos. De oorspronkelijk hoogste delen van het zwak golvende dekzandlandschap

worden het eerst door deflatie aangetast, aangezien op die plaatsen de bodem en de vegetatie de minste weerstand bieden. In de (vochtige) laagten liep het zand in de hier nog aanwezige vegetatie vast en indien die vegetatie in staat was mee te groeien met de stuifzandakkumulatie of zich hieraan aan te passen, zal reliëfinversie het resultaat zijn geweest. De plateauvormige, door relatief steile hellingen begrensde stuifzandheuvels liggen temidden van uitgestoven laagten. De genese van dit type stuifzandreliëf werd reeds onderkend door Schelling (1955) en de ouderdom van de overstuiving is besproken door Polak (1968), Koster (1970b) en De Gans (1974). Bij het veldonderzoek van de Veluwse stuifzanden is veel aandacht besteed aan het opsporen en bestuderen van dit type stuifzandheuvels, omdat deze plateaurestduinen, dankzij de aanwezigheid van op geringe diepte voorkomende, overstoven bodemprofielen en in sommige gevallen veenlaagjes, veel informatie geven over de ontstaansvoorwaarden en de ouderdom van de zandverstuivingen. In de reliëfrijke overgestoven stuifzandgebieden bevindt het oorspronkelijke oppervlak zich veelal op grote diepte en in de opgestoven en uitgestoven gebieden zijn helemaal geen dateerbare lagen of horizonten te vinden.

Bij bestudering van de geomorfologische kaart (appendix 9) valt vooral de grillige afwisseling van reliëfrijke stuifzand-duinkomplexen en vlakke uitgestoven laagten en het voorkomen van grote aantallen, in grootte en omtrek sterk variërende, geïsoleerde stuifzandheuvels op. Deze geïsoleerde stuifzandheuvels zijn op vorm en aan- of afwezigheid van een overstoven bodemprofiel in of onder de heuvel onderverdeeld in drie vormtypen (legenda-eenheden 11, 12 en 13). Met uitzondering van de reliëfrijke aktieve stuifzandgebieden en in de nabijheid daarvan voorkomende heidevelden ten westen van het Leuvenumse Bos en in het Beekhuizer en Hulshorstse Zand, is het gebied overwegend bebost met eerste generatie grove den. In de smalle zone ter weerszijden van de Leuvenumse Beek komt hoog oud loofhout voor. De loop van de Leuvenumse Beek is overigens al vanaf de Late Middeleeuwen min of meer gekanaliseerd ten behoeve van de papierindustrie. Langs de beek heeft een aantal papiermolens gestaan, onder andere bij De Zandmolen. Ten westen van de Leuvenumse Beek komt een aantal, tot > 10 m hoge randwalduinen voor, waar het stuifzand is vastgelopen in de vegetatie langs de beek. Om de beek voor dicht stuiven te behoeden is ook vegetatie aangeplant. Zo is bekend dat de Heren van de Essenburgh (nabij Hulshorst), onder wie dit gebied ressorteerde, omstreeks 1600 de beekoevers hebben doen 'beplanten met eikentelgen om het vliegzand door bosaanplanting tot stilstand te brengen' (Feenstra 1975). Nabij de boerderij





Figuur 11.4
Doorsneden door plateaurestduinen (forten) in het Hulshorstse Zand en Leuvenumse Bos (lokaties zie appendix 9)
Cross-sections of plateau dunes ('forts') in the Hulshorstse Zand and Leuvenumse Bos (locations see appendix 9)
1 - stuifzand met mikropodsol/drift sand with micropodzol, 2 - venig zand/peaty sand, 3 - *Sphagnum*veen/*Sphagnum* peat, 4 - A-horizont bodemprofiel/A horizon soil profile, 5 - B-horizont bodemprofiel/B horizon soil profile, 6 - dekzand/cover sand, 7 - fluvio-periglaciaal materiaal/fluvio-periglacial material, 8 - rekonstruktie oorspronkelijk oppervlak/reconstruction original surface, 9 - uitgestoven laagte/'blown-out' area

Figuur 11.5
Reliëfinversie bij de vorming van plateaurestduinen in het Leuvenumse Bos
Inversion of the relief during the formation of 'plateau dunes' in the Leuvenumse Bos
1 - huidig oppervlak/present-day surface, 2 - oorspronkelijk oppervlak dekzandreliëf/original surface cover sand reliëf, 3 - idem, gerekonstrueerd/reconstructed, 4 - bovenzijde grindhoudend materiaal/upper side gravelly material

Beekhuizen komt een klein, niet verstoven dekzandgebied voor, ten dele met een > 50 cm dik oud bouwlanddek.

Uit de doorsnede A - B in appendix 9 blijkt, dat de stuifzanden liggen op dekzanden en of op grindhoudende fluvio-periglaciale afzettingen. De dekzanden bestaan uit een maximaal enkele meters dik pakket. De grindhoudende afzettingen, die de Vallei van de Leuvenumse Beek voor een belangrijk deel hebben opgevuld, zijn afkomstig van de hogere terreindelen ter weerszijden, bestaande uit ten dele gestuwde pre- en fluvio-glaciale afzettingen. Aan de oostzijde van het gekarteerde gebied wiggen de stuif- en dekzanden op een hoogte van 20 à 30 m + N.A.P. uit tegen het hellende terreingedeelte van de Stakenberg en de Zwarte Berg. In het uiterste westen van de kaart komt een geïsoleerde opduiking van fluvio-glaciaal materiaal voor bij de Galgenberg.

Verspreid over de kaart, maar vooral in het zuidoostelijke deel van het Leuvenumse Bos, komt een honderdtal plateaurestduinen ('forten') voor. Het merendeel van deze duinvormen bereikt een hoogte van 2-5 m boven het niveau van de omringende uitgestoven laagten en ze variëren in doorsnede van 15-500 m. De bovenzijde is vaak komvormig ten gevolge van de vorming van een iets hogere ringwal aan de randen ('ringwalduin'). De doorsneden C - D en E - F in figuur 11.4, en figuur 11.5 illustreren de in- en uitwendige bouw van deze plateaurestduinen. Voor de vervaardiging van deze doorsneden zijn de boorpunten (ongeveer om de 10 m) door waterpassing ingemeten en voor de bestudering van de overstoven bodemprofielen zijn op diverse plaatsen profielkuilen gegraven in de flanken van de heuvels. Op zekere diepte in het heuvellichaam wordt het komvormig verlopende, overstoven, oorspronkelijke dekzandoppervlak aangetroffen. De overstoven bodemprofielen in dekzand zijn in dit gebied haarpodsolen. In enkele plateaurestduinen werd op de ondoorlatende haarpodsol een oligotroof veenlaagje aangetroffen in dikte variërend van 5-35 cm. Dat het voorkomen van *Sphagnum*veen in deze duinvormen eerder uitzondering dan regel is, blijkt uit het feit dat van de meer dan honderd plateaurestduinen er slechts vijf een veenlaagje bleken te bevatten. In plateaurestduinen met een geringe diameter is het komvormige verloop van het oorspronkelijke dekzandoppervlak niet meer waarneembaar. De datering van deze veenlaagjes wees uit dat de verstuiving overwegend in de Late Middeleeuwen aangevangen is (paragraaf 10.4).

Doordat wortels en vegetatie het zand vasthouden, worden in de flanken van plateaurestduinen steile hellingen (tot 45°) aangetroffen, hetgeen belangrijk hoger is dan de maximale rusthoek van droog, los zand, die afhankelijk van korrelgrootte- en vormverdeling 30°-33° bedraagt. Op diverse plaatsen is gekonstateerd dat ook het dagzomen van het ten dele verkitte haarpodsolprofiel in de flanken van de heuvels de vorming van steile hellingen bevordert. In het aktieve stuifzand in het Hulshorstse Zand is waargenomen, hoe thans door een kombinatie van deflatie en akkumulatie een fortachtige vorm ontstaat en hoe het bodemprofiel als een resistente laag dagzoomt in het erosievlak. De verkitte B2h- en B2ir.-horizonten brokkelen af in kleine schubjes onder invloed van wisselingen in vochtigheid en temperatuur. Deze zandbrokjes worden op hun beurt verpulverd door een voortdurend bombardement van salterende zandkorrels. In profielkuilen in de flanken van plateaurestduinen is de afsnijding van het bodemprofiel te zien onder het stuifzand dat na-

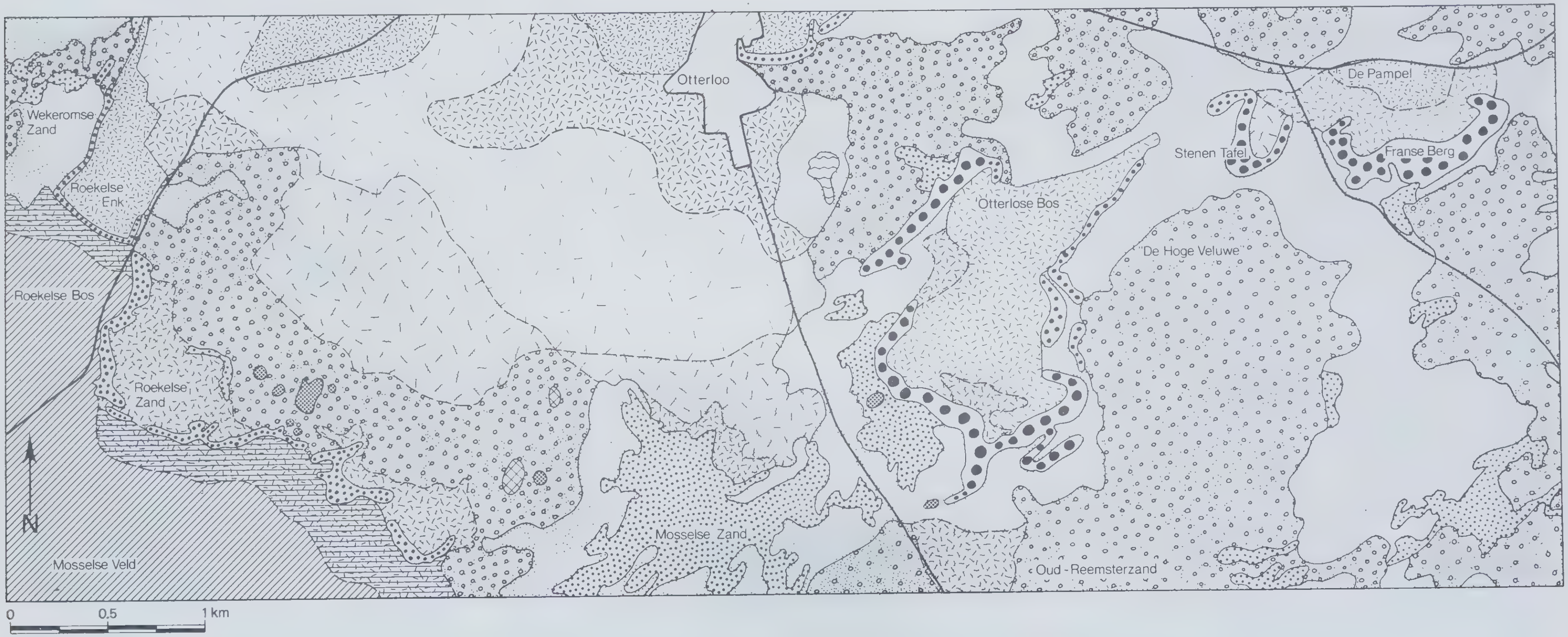
dien op de flanken is afgezet (Koster, 1970a). In enkele gevallen is deze afsnijding van het bodemprofiel zelfs loodrecht, doordat het resistente bodemprofiel werd ondergraven door uitblazing van het eronder liggende dekzand.

In het Leuvenumse Bos is het dekzandpakket door deflatie rondom de plateaurestduinen geheel opgeruimd en is de deflatie praktisch direkt gestopt zodra het grindhoudende materiaal van de ondergrond bereikt werd. Hierdoor werden volkomen vlakke uitgestoven laagten gevormd. In het westelijke deel van het Leuvenumse Bos waar in de uitgestoven laagten naast relatief kleine plateaurestduinen ook veel opgestoven stuifzandheuvels voorkomen, zijn beide typen op vorm alleen moeilijk te scheiden.

In het oostelijke deel van het Leuvenumse Bos waar uitsluitend, voor een deel grote plateaurestduinen in de uitgestoven laagte voorkomen, zijn ze in hun meest typerende vorm ontwikkeld. Alhoewel in het Leuvenumse Bos en omgeving in vergelijking tot in de andere Veluwse stuifzandgebieden relatief hoge grondwaterstanden (zie tabel 11.1) voorkomen, zijn geen aanwijzingen gevonden, dat dit van invloed is geweest op het ontstaan van de plateaurestduinen en de omringende vlakke uitgestoven laagten. Het 'fortenreliëf' als het meest sprekende resultaat van reliëfinversie komt niet algemeen voor in de Veluwse stuifzanden. Het is eerder uitzondering dan regel en is kennelijk gebonden aan lokale omstandigheden. Deze zijn in het geval van het oostelijke deel van het Leuvenumse Bos: a. de aanwezigheid van een destijds zwak golvend dekzandreliëf, b. het door vernietiging van de vegetatie lokaal in verstuiving geraken van dit gebied, c. het zich handhaven van vegetatie in de oorspronkelijke (vochtige) depressies van het dekzandreliëf, waardoor stuifzand opgevangen kan worden, d. het voorkomen van een sterk ontwikkeld haarpodsolprofiel in dekzand, dat langdurig weerstand kan bieden tegen deflatie, e. de aanwezigheid van een niet meer dan enkele meters dik dekzandpakket op niet voor verstuiving geschikt grindhoudend materiaal en f. geen voortdurende nieuwe aanvoer van stuifzand van elders waardoor het onderscheid tussen uitgestoven en overgestoven terreindelen verloren gaat. Dit laatste houdt verband met het feit dat de Leuvenumse Beek en de daar langs lopende vegetatiezone en randwalduinen het gebied afgeschermd hebben tegen zandaanvoer vanuit het westen.

Aan soortgelijke voorwaarden voldoet een klein deel van het stuifzandgebied in het Spelderholt nabij de Waterberg, waar een volkomen vergelijkbaar 'fortenreliëf' is ontstaan. De aldaar in doorsnede tot ca 100 m grote en 2,5 à 3,5 m hoge plateaurestduinen liggen op de stuwwal van de oostelijke Veluwe op een hoogte van ca 85 m + N.A.P., terwijl de isohypsen van het freatische grondwater ter plaatse tussen 35 en 40 m + N.A.P. liggen, hetgeen dus beïnvloeding van de genese van dit stuifzandreliëf door het grondwater uitsluit. De uitgestoven laagte rondom deze plateaurestduinen is vlak en kennelijk heeft de uitstuiving in dit gebied het 2-3 m dikke pakket dekzand volledig opgeruimd en is direkt in het grindhoudende preglaciale materiaal gestopt. Het haarpodsolprofiel in deze heuvels is waterondoorlatend en zelfs in zeer droge zomers is het stuifzand direkt boven het bodemprofiel nog vochtig. Gekonkludeerd wordt, dat de vorming van deze relatief kleine heuvels, die waarschijnlijk als erosieresten van één oorspronkelijk veel groter plateaurestduin beschouwd kunnen worden, gebonden is aan het plaatselijk voorkomen van een sterke podsolering in een flauwe depressie van het oorspronkelijke dekzandreliëf. Voor het overige komen deze duinvormen in de stuifzandgebieden op de oostelijke Veluwe slechts sporadisch voor.

Plateaurestduinen zijn tevens in geringe aantallen aangetroffen en globaal onderzocht in de volgende stuifzandgebieden: nabij De Zoom (top.kaart 27A); in de Vierhoutense Heide nabij Saxenheim en in het Willemsbos nabij Nunspeet (27C); in het Kootwijkse Bos (32F); in het Roekelse Zand en in het Wekeromse Zand nabij Vijfsprong (32H); in het Kootwijkse Zand en in het Ugchelse Bos nabij de Hamerkolken (33A); in het Mosselse, Oud-Reemster, Deelense en Otterlose Zand (33C). Opmerkelijk is dat dit type stuifzandheuvel bijna altijd in kleine groepjes bijeen voorkomt. Het stuifzandgebied in de Boswachterij Kootwijk, dat in detail bodemkundig gekarteerd is door Schelling (1955), bestaat uit een bonte afwisseling van uitgestoven laagten, al of niet bedekt met opgestoven stuifzandheuvels en overgestoven terreinen. Figuur 2.1 beslaat een deel van dit gebied. In een beginfase van verstuiving zal hier een duidelijk onderscheid bestaan hebben tussen de uitgestoven laagten en de overgestoven erosieresten van het oorspronkelijke dekzandreliëf, vergelijkbaar met het 'fortenreliëf' in het Leuvenumse Bos. Vervolgens is evenwel in dit gebied de verstuiving doorgegaan en zijn zowel de uitgestoven laagten als de overgestoven terreinen verder overdekt met stuifzand. Hierdoor werd de afwisseling van het deflatie- en het akkumulatiegebied als het ware gemaskeerd. De oorzaak hiervoor kan gevonden worden in de grindarmoede van de ondergrond. In tegenstelling tot de situatie in het Leuvenumse Bos en in het Spelderholt zal de verstuiving in de Boswachterij Kootwijk min of meer ongelimiteerd door kunnen zijn gegaan tot de bebossing. In de uitgestoven laagten wordt dan ook weinig grof grind aan de oppervlakte aangetroffen.



Figuur 11.6
Geomorfologische kaart van de stuifzanden van het Wekeromse, Roekelse, Mosselse, Oud-Reemster en Otterlose Zand en van het Otterlose Bos (legenda zie appendix 8)
Geomorphological map of the drift sands of the Wekeromse, Roekelse, Mosselse, Oud-Reemster and Otterlose Zand and of the Otterlose Bos (legend see appendix 8)

Plateaurestduinen met eenzelfde genese en min of meer gelijke ouderdom zijn onderzocht in stuifzandgebieden in Denemarken en de Bondsrepubliek Duitsland (Koster, in prep.)

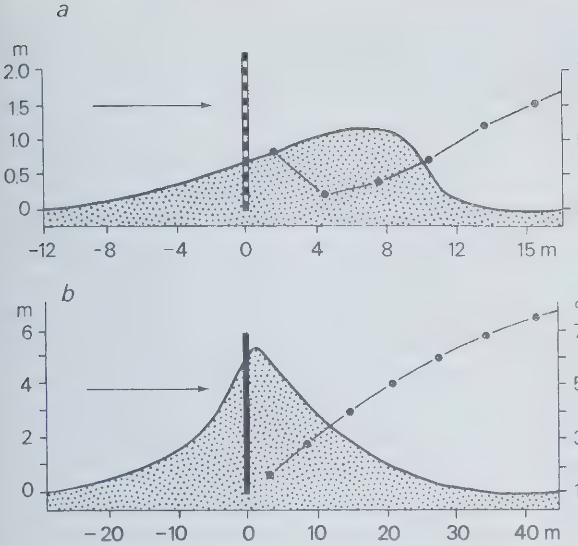
11.4 Morfogenese van een Midden- en Zuidwest-Veluws, reliëfrijk stuifzandgebied, in het bijzonder van randwalduinen

Tot één van de meest opvallende duintypen in de stuifzandgebieden, die in figuur 11.6 in kaart zijn gebracht, behoren de randwalduinen. Deze, in doorsnede asymmetrische, tot ca 20 m hoge stuifzandruggen komen voor als begrenzing van het Roekelse Zand, rondom het Otterlose Bos en nabij de Stenen Tafel en de Franse Berg op het terrein van het Nationale Park 'De Hoge Veluwe'.

De hoge stuifzandrug rondom het Otterlose Bos, die een hoogte bereikt van bijna 50 m + N.A.P., heeft een zeer grillig verloop en bestaat uit een aaneenschakeling van min of meer boogvormige heuvels. Het westelijke deel van de rug wordt nog steeds opgehoogd door stuifzand vanuit het hiervoor gelegen, aktieve stuifzandgebied. Een bepaalde oriëntatie ten opzichte van de overheersende windrichting treedt bij deze wat vorm en ligging betreft door de vegetatie bepaalde ruggen niet op. Een dominantie van zandtransport door westelijke winden is evenwel merkbaar aan de grotere hoogte van de rug aan de westzijde van het bos dan aan de oostzijde. In het westelijke deel van het Otterlose Bos is de rug onderbroken door een laagte, waardoor ten oosten van deze opening een enkele meters dik stuifzanddek afgezet kon worden op het 60-80 cm dikke haarpodsolprofiel in dekzand in het vlakke middengedeelte van het bos. In de rest van het bos ligt het niet door verstuiving beïnvloede dekzand aan de oppervlakte. Het Otterlose Bos bestaat uit gemengd loof-naaldbos, terwijl het omringende stuifzandgebied begroeid is met grove den, vliegden, jeneverbes en heide. Het bos, in het verleden ook het Aanstoter of Aanstootsche Bosch genaamd, kan mogelijk beschouwd worden als een overblijfsel van het reeds in 885 vermelde woud in Ottarloun (Martens van Sevenhoven, 1925; Veldhorst, 1965). De randwalduinen zijn voornamelijk begroeid met een dichte eikenhakhoutvegetatie en bezitten aan de oppervlakte een zwak ontwikkeld podsolprofiel met een dikte van 30-50 cm, hetgeen overigens meer is dan de gemiddelde profielontwikkeling in het omringende stuifzand.

Vanaf de 12e of 13e eeuw zijn de bewoners van de Veluwe ertoe overgegaan delen van het resterende natuurlijke bos in gemeenschappelijk gebruik te nemen, teneinde blijvend verzekerd te zijn van hun toenemende behoefte aan hout voor brandstof en andere doeleinden (Zuiderveen Borgesius, 1973). Deze bossen werden door groepen geërfden in beheer genomen, die regels opstelden ter bescherming van het bos tegen vernieling door beweiding en afplagging en die bepaalden wat jaarlijks gekapt mocht worden en opnieuw moest worden ingepoot. Op de Veluwe heetten deze instellingen 'maalschappen', in tegenstelling tot de 'marken' die geen bos beheerden. Deze zogenaamde 'male(n)bossen' lagen alle in de nabijheid van buurschappen, waaraan zij hun naam ontleenden. Zuiderveen Borgesius (1973), die de geschiedenis van de Veluwse malebossen heeft bestudeerd, vermeldt 21 maalschappen op de Veluwe, die bos omvatten. Martens van Sevenhoven (1925), die de Veluwse malebossen in kaart heeft gebracht, geeft ook het Otterlose en Roekelse Bos als zodanig aan. De vroegere begrenzing van de malebossen is soms nog herkenbaar aan het onregelmatige patroon van bospercelen, dat omgeven wordt door een doorlopende weg (de 'traa'), die als brandgang en als houtafvoerweg diende. Dit in tegenstelling tot het geometrische patroon van lijnrechte bospaden in de jonge ontginningsbossen, die na de verdeling van de markegronden in de plaats zijn gekomen van de uitgestrekte heidevelden op de Veluwe. Het Otterlose Bos heeft als barrière gefunktioneerd voor het opdringende stuifzand, dat door de plotselinge afname in windsnelheid in de bosrand geakkumuleerd is (Koster, 1968). Beplanting van de rug met eikenhakhout en het meegroeien van de vegetatie met de overstuiving heeft bijgedragen tot het bereiken van grote hoogten. In overeenstemming met deze opvatting is de zwak hellende loefzijde en de steile lijzijde van de ruggen. Geiger (1961) bespreekt in navolging van Kaiser (1959) de invloed van diverse typen hindernissen op de reduktie van de windsnelheid achter de hindernissen en de hiermee samenhangende akkumulatievormen van zand (figuur 11.7). De invloed van de bosrand kan hier vergeleken worden met die van een smal doorlatend scherm, waaraan Kaiser (1959) metingen verrichtte. Figuur 11.8 illustreert de zwak hellende loefzijde van het randwalduin aan de rand van het Otterlose Bos.

De gemiddeld ca 5 m hoge stuifzandrug, die de westelijke begrenzing vormt van het Roekelse Zand wordt gezien zijn vorm en ligging beschouwd als een randwalduin langs de oostelijke begrenzing van het door Martens van Sevenhoven (1925) aangegeven malebos, het Wekeromse Bos; thans op de topografische kaart aangegeven als Roekelse Bos. De zuidoostelijke uitloper van deze rug, bestaande uit een aaneenschakeling van boogvormige stuifzandruggen, is gevormd tegen de flank van de stuwwal van Oud-Reemst, daar waar het stuifzand vastliep in de op de rijkere gronden voorkomende vegetatie.



Figuur 11.7
Akkumulatie van zand ter weerszijden van een doorlatende (a) en een ondoorlatende (b) hindernis; vorming van een randwalduin respektievelijk stuifdijk. De pijltjes geven de windrichting aan. Aan de lijzijde is de reduktie van de windsnelheid (horizontale komponent op 40 cm -a- respektievelijk 140 cm -b- hoogte) aangegeven in % van de windsnelheid in het open veld (naar Kaiser, 1959 en Geiger, 1961)
Accumulation of sand on either side of a pervious (a) and an impervious (b) barrier; formation of a bordering dune ridge resp. dike sand ridge. The arrows indicate the wind direction. At the lee-side the reduction of the wind velocity (horizontal component at a height of 40 cm -a- resp. 140 cm -b-) is indicated in % of the free wind velocity (after Kaiser, 1959 and Geiger, 1961)

De 10-20 m hoge stuifzandruggen van de Franse Berg en de Stenen Tafel vertonen dezelfde kenmerken als de randwalduinen rondom het Otterlose Bos, namelijk: een asymmetrische dwarsdoorsnede, een begroeiing met eikenhakhout, een relatief diepe bodemprofielontwikkeling, en zij vormen de scheiding van reliëfrijke stuifzand-duinkomplexen en vlakke tot zwak golvende dekzandterreinen. Ten noorden van de Franse Berg ligt de oude ontginning van De Pampel, waarvan de oudste gegevens terug gaan tot in de 16e eeuw (Veldhorst, 1965). De bouwlanden van De Pampel, waarvan een deel herkenbaar is aan een oud bouwlanddek (zwarte enkeerdgrond) van 50-80 cm dikte, zijn vanouds omsloten geweest door bosbeplantingen, teneinde overstuiving van de akkers te voorkomen.

Elders op de Veluwe komen soortgelijke randwalduinen voor die waarschijnlijk gebonden zijn aan de randen van vroegere malebossen, namelijk: een hoge stuifzandrug langs de oostelijke begrenzing van het malebos in het Spelderholt; stuifzandruggen langs de zuidelijke begrenzing van het malebos in het Speulderbos nabij Garderen; stuifzandruggen nabij de Stroese Bergen ten westen van Kootwijk en nabij de Maalberg ten oosten van Kootwijk samenhangende met het Benedenbos respektievelijk het Bovenbos, die volgens Martens van Sevenhoven (1925) deel uitmaakten van de maalschap van Kootwijk.

Plaatselijk is het ontstaan van randwalduinen gebonden aan het vastlopen van stuifzand in begroeide vochtige terreinen, zoals beschreven is voor de ruggen aan de westzijde van het dal van de Leuvenumse Beek. Hesselink (1920) beschrijft eenzelfde vorm aan de rand van het Harskampse Zand tussen de Gerritsfles en de Stevenpol.

Min of meer analoge vormen van kleiner formaat zijn de aan de randen van akkers gelegen hout- of wildwalduinen en de ringwalduinen rondom vochtige depressies. De kleine, verspreid voorkomende ontginningen op de Veluwe hebben een voortdurende strijd geleverd tegen de zandverstuivingen. De hout- en wildwallen om de akkers, primair aangebracht om de gewassen te beschermen tegen vernieling door het vee en

Figuur 11.8
Loefzijde randwalduin aan de noordwestelijke zijde van het Otterlose Bos; op de voorgrond uitgestoven laagte in dekzand
Stoss-side 'bordering dune ridge' at the northwestern side of the Otterlose Bos; in the foreground 'blown-out' area in cover sand

het wild, dienden stellig ook om het overstuiven van akkers tegen te gaan (Van der Loeff, 1948). Hout- en wildwalduinen komen in figuur 11.6 voor als begrenzing van de bouwlanden bij Otterlo en op de grens van het Wekeromse Zand en de Roekelse Enk. Ook de Wekeromse Eng (valt net buiten de figuur) wordt aan de westzijde afgeschermd door een tot ca 7,5 m hoge houtwalduin. Identieke situaties doen zich op de volgende lokaties voor: op de grens van het Hulshorstse Zand en de bouwlanden ten zuiden van Hulshorst (26H), op de grens van de stuifzanden en bouwlanden nabij Wessinge en 't Harde (27A), aan de zuidgrens van het bouwlandkomplex van Mullegen en nabij Wezep (27B), nabij Vijfsprong en De Ginkel (32H), nabij Uddel en aan de zuidzijde van de eng van Kootwijk (33A), langs de Wieselse Enk en langs de bouwlanden ten zuidoosten van Beekbergen (33B), langs de eng van Harskamp en langs de oude ontginningen van Nieuw- en Oud-Reemst (33C).

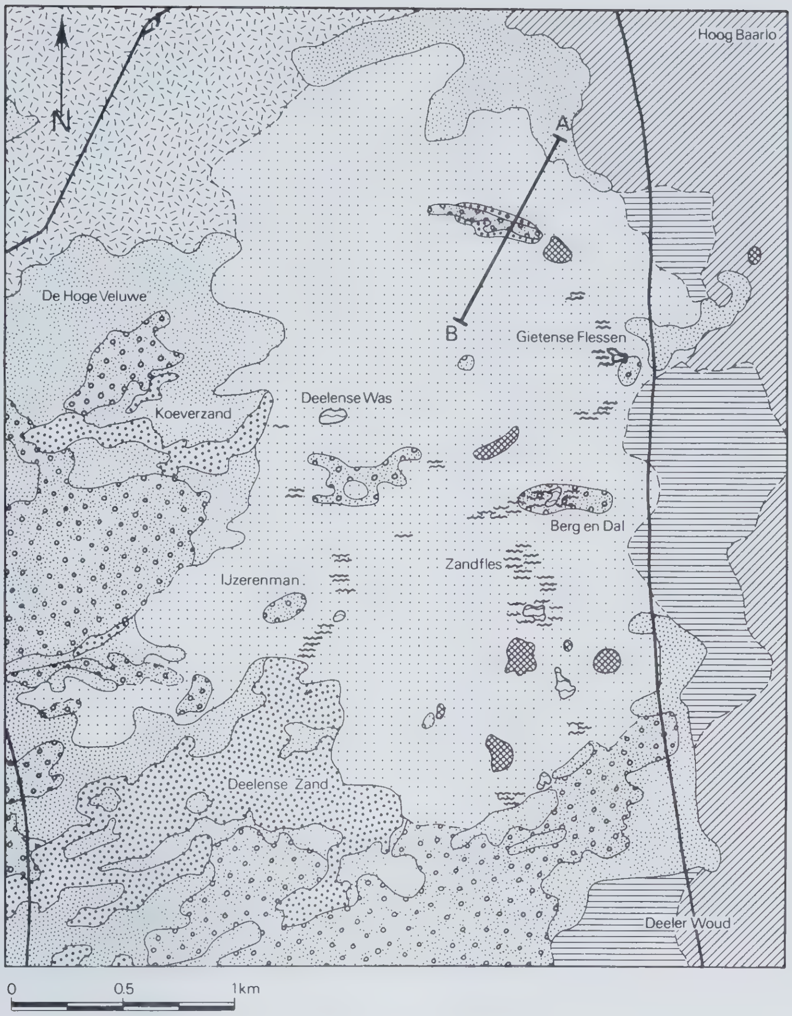
Schelling (1955) wees al op de sterke verwantschap van rand- of houtwalduinen en stuifdijken. Bij de pogingen tot beteugeling van de zandverstuivingen is deze vorm plaatselijk ontstaan. De 2,5-5 m hoge stuifzandrug, die de begrenzing vormt van de stuifzanden nabij Mullegen en de ten noorden daarvan voorkomende oude bouwlanden wordt vanwege zijn lijnrechte vorm en symmetrische dwarsdoorsnede opgevat als stuifdijk (figuur 11.9). Ten noorden van de ZW-NO georiënteerde rug ligt de tot 80 cm dikke, zwarte enkeerdgrond in dekzand aan de oppervlakte. Onder de rug wigt het bouwlanddek uit, terwijl ten zuiden van de rug het haarpodsolprofiel in dekzand overstoven is door een enkele decimeters dik stuifzandlaagje.

Van de in deze paragraaf beschreven stuifzandruggen langs het Otterlose Bos en nabij Mullegen is door middel van palynologisch onderzoek van overstoven humeuze lagen en horizonten vastgesteld, dat ze van laat-middeleeuwse of jongere ouderdom zijn (paragraaf 10.4).

11.5 Morfogenese van een Midden-Veluws, reliëfarm stuifzandgebied

In het oostelijke deel van het Nationale Park 'De Hoge Veluwe' komt tussen de hoogtelijnen van 40 en 50 m + N.A.P. een uitzonderlijk reliëfarm stuifzandgebied voor. Dit gebied is gekarteerd als een reliëfarme stuifzandwelving of -vlakte, overwegend voorkomend op het oorspronkelijke oppervlak in dekzand (figuur 11.10). Het grootste deel van dit gebied bezit een zwak golvend reliëf, gebonden aan de oorspronkelijke vorm van de ondergrond. Lokaal komen enkele kleine uitgestoven laagten en geïsoleerde, overgestoven, 1,5-5 m hoge stuifzandheuvels op het niet door verstuiving aangetaste dekzandoppervlak voor. Aan de noordzijde gaat het stuifzandgebied over in een golvend dekzandgebied; aan de oostzijde wordt het gebied begrensd door de, door droge dalen versneden, flank van de stuwwal van de oostelijke Veluwe; aan de zuidzijde is de door dek- en stuifzand grotendeels overdekte stuwwal van Oud-Reemst aanwezig, terwijl de westelijke begrenzing gevormd wordt door de reliëfrijke, ten dele aktieve stuifzandgebieden van het Deelense Zand en Koeverzand. Het stuifzandgebied wordt doorsneden door enkele O-W verlopende geulvormige laagten. Op enkele plaatsen is waarneembaar, dat hier sprake is van samengestelde dalvormen, namelijk: relatief smalle, zwak ontwikkelde, geulvormige laagten in de laagste delen van grote, brede dalen, die de voortzetting vormen van droge dalen in de stuwwalflank. De vage begrenzing van het vlakke tot zwak golvende stuifzandgebied en het lagere deel van de stuwwalflank is getrokken op grond van de aard van

Figuur 11.9
Stuifdijk als noordelijke begrenzing van het stuifzandgebied nabij Mullegen; op de voorgrond enkeerdgrond in dekzand
'Dike sand ridge' at the northern edge of a drift sand area near Mullegen; in the foreground 'Enk' earth soil in cover sand



Figuur 11.10
Geomorfologische kaart van de stuifzanden in het oostelijke deel van het Nationale Park 'De Hoge Veluwe' (legenda zie appendix 8)
Geomorphological map of the drift sands in the eastern part of the National Park 'De Hoge Veluwe' (legend see appendix 8)
A-B - doorsnede figuur/cross-section figure 11.11

het materiaal aan de oppervlakte, de bodemprofielontwikkeling aan de oppervlakte en het al dan niet voorkomen van een overstoven bodemprofiel.

In het noordelijke deel van het gekarteerde gebied is door waterpassing en boringen (boorafstanden 15-20 m) een dwarsprofiel ingemeten, waarbij zowel twee geulvormige laagten als een smalle, langgerekte uitgestoven laagte doorsneden worden (figuur 11.11). Uit deze figuur blijkt, dat het stuifzandpakket als een deken van min of meer uniforme dikte het onderliggende reliëf bedekt en tevens dat de uitgestoven laagte ontstaan is door verstuiving van een oorspronkelijk in het dekzandoppervlak en in het daaropvolgende stuifzandoppervlak aanwezige rug. Tevens zijn aanwijzingen gevonden, dat het huidige reliëf zelfs nog overeenkomsten vertoont met dat van de verspoelde preglaciale afzettingen in de ondergrond. Maarleveld & Pape (1960) karteerden in dit gebied een zwak hellende, in de ondergrond voorkomende puinwaaier. Het reliëfrijke stuifzand-duinkomplex nabij het noordoostelijke uiteinde van het dwarsprofiel en de thans ten dele uitgestoven rugvorm in het midden van het dwarsprofiel komen wat ligging aangaat overeen met hoger liggende delen van de grindhoudende puinwaaierafzettingen.

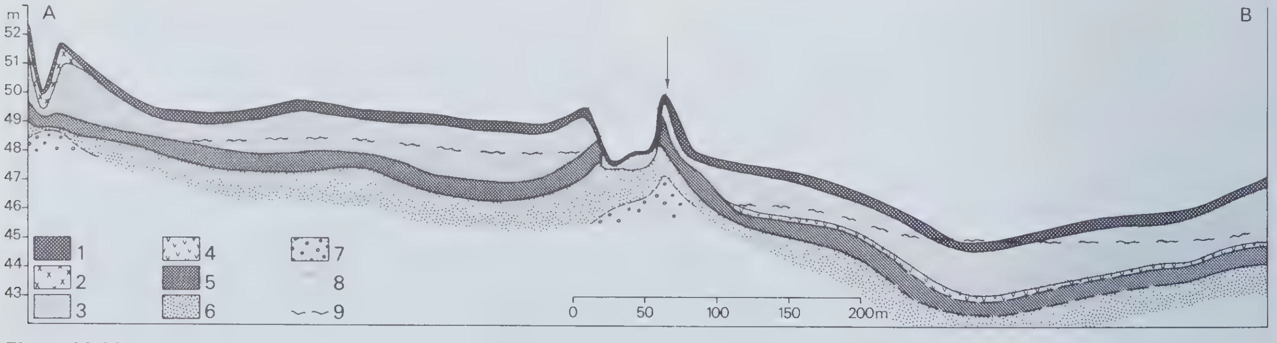
In het stuifzand-duinkomplex en in de uitgestoven laagte is aan de oppervlakte een mikropodsol aanwezig. Maarleveld & Pape (1960) omschreven het vlakke tot zwak golvende stuifzandgebied op grond van de aan de oppervlakte aanwezige zwakke humuspodsol als 'vrij oud stuifzand op een bodemprofiel, overwegend vochtig tot nat'. Het 1-2 m dikke stuifzanddek met een regelmatige horizontale gelaagdheid ligt op een humuspodsol in dekzand, dat op vele plaatsen vermengd is met grindhoudend materiaal van de ondergrond. Door stagnatie van water op de veelal ondoorlatende humuspodsol zijn moerassige gebiedjes en een aantal 'flessen' ont-

staan, nabij de IJzerenman, Berg en Dal, Zandfles, Deelense Was en Gietense Flessen. In een aantal geulvormige laagten staat de schijngrondwaterspiegel soms tot enkele decimeters boven het maaiveld. Dit is ook het geval in de zuidelijk gelegen geulvormige laagte in figuur 11.11. Direkt boven de humuspodsol in dekzand komt hier een tot 30 cm dikke laag grijszwart, venig zand voor. In de smalle uitgestoven laagte is de deflatie doorgegaan tot in het met dunne grindlensjes vermengde dekzand en vervolgens is hierop een tot 50 cm dikke laag uiterst tot zeer humusarm stuifzand afgezet. Op die plaatsen waar de oorspronkelijke dekzandrug wat lager ligt, kan het hangwater over het, in de uitgestoven laagte afgesneden, ondoorlatende humuspodsolprofiel wegstromen en infiltreren in de ondergrond. In deze kontaktzone tussen het voortdurend door hangwater verzadigde materiaal en het geaëreerde stuifzand zijn dikke roodbruine, soms min of meer vertikaal staande ijzerfibers in het stuifzand waargenomen, hetgeen eveneens vermeld wordt door Stoutjesdijk (1959). Deze situatie is vergelijkbaar met die van de Gerritsfles langs de noordoostelijke begrenzing van het Harskampse Zand, zoals beschreven is door Schimmel & Ter Hoeve (1952). De waterrijkdom van het reliëfarme stuifzandgebied wordt veroorzaakt door stagnatie van regenwater op het ondoorlatende humuspodsolprofiel in dekzand en door laterale aanvoer van over het profiel afstromend water vanaf de zwak hellende stuwwalflank. Het grondwater bevindt zich hier op een diepte van minstens 10 m - maaiveld. In hoeverre van de stuwwal afkomstig kwelwater in dit gebied aan of nabij de oppervlakte lokaal tevens van invloed is, is niet bekend.

In paragraaf 10.4 is de sedimentopeenvolging en de bodemprofielontwikkeling besproken van een bemonsteringsplaats, die daar gelokaliseerd is waar het ingemeten dwarsprofiel de smalle uitgestoven laagte en de stuifzandrug daarlangs snijdt (figuur 11.11). De datering wees uit dat de verstuiving in dit gebied al in het begin van de Vroege Middeleeuwen is aangevangen.

De vorming van stuifzanddekken met een min of meer uniforme dikte en een reliëf sterk gelijkend op dat van vele dekzandgebieden is gebonden aan lokale faktoren. De beschreven reliëfarme stuifzandwelving of -vlakte is ontstaan door een gelijkmatige instuiving van zand in een langdurig met heide of andere lage vegetatie begroeid gebied met hoge (schijn)grondwaterstanden. De bodemprofielontwikkeling aan de oppervlakte en de aard en ouderdom van het stuifzand zijn hiermee in overeenstemming. Een dergelijke situatie doet zich op de Veluwe op meer plaatsen voor. Op zuiver morfologische gronden is een onderscheid tussen dit type stuifzand- en dekzandgebieden niet mogelijk. Het is om deze reden dat delen van de op geomorfologische kaarten van Nederland als dekzandwelvingen aangegeven eenheden volgens de hier gevolgde kriteria als stuifzandafzettingen beschouwd worden. In het Roekelse Zand langs de stuwwal van Oud-Reemst, in de omgeving van Voorthuizen, in het oostelijke deel van het Kootwijkse Zand nabij de flank van de stuwwal van de oostelijke Veluwe (Zonneveld, 1966), en langs de noordelijke Veluwerand worden eveneens stuifzandgebieden aangetroffen met een vlak tot zwak golvend reliëf, daar waar slechts relatief dunne stuifzanddekken met een uniforme dikte gesedimenteerd zijn op niet door verstuiving aangetast ouder materiaal.

Gelet op de hier beschreven vorming van een voor stuifzanden uitzonderlijk gering reliëf, kan voor wat betreft de ontstaansvoorwaarden van eveneens reliëfarme dekzandgebieden in Nederland verondersteld worden, dat soortgelijke faktoren (gelijkmatige instuiving van zand in vochtige, min of meer open, met lage vegetatie



Figuur 11.11
Doorsnede van het stuifzandgebied ten noordoosten van de Deelense Was (lokatie zie figuur 11.10). Het pijltje geeft de bemonsteringsplaats aan voor het pollendiagram Hoenderlo (figuur 10.12)
Cross-section of a drift sand area to the northeast of the Deelense Was (location see figure 11.10). The arrow indicates the sampling location for the pollen diagram Hoenderlo (figure 10.12)
1 - mikropodsol, matig ontwikkelde humuspodzol/micropodzol, moderately developed humuspodzol, 2 - omgewerkte grond/disturbed material, 3 - stuifzand/drift sand, 4 - venig zand/peaty sand, 5 - humuspodsol/humuspodzol, 6 - dekzand/cover sand, 7 - verspoeld, grindhoudend, preglaciaal materiaal/redeposited, gravelly, preglacial material, 8 - oorspronkelijk dekzand- c.q. stuifzandoppervlak/original cover sand c.q. drift sand surface, 9 - schijngrondwaterspiegel/perched water table

begroeide terreinen) bepalend zijn geweest. Wat de vochtige kondities aangaat kan verband gelegd worden met de aanwezigheid destijds van een opdooilaag en wat betreft de lage vegetatie zullen mossen en grassen een belangrijk bestanddeel hebben uitgemaakt. Dit is in overeenstemming met waarnemingen in recente periglaciale gebieden, zoals de noordelijke kustvlakte van Alaska, waar Van den Toorn (1967) een verband vond tussen afzettingen van horizontaal gelaagde, gelijkmatig dikke zandpakketten en een lage begroeiing van mossen en grassen, evenals tussen reliëfrijke duinkomplexen en een hoge begroeiing bestaande uit hoge grassen en struiken. De aard van de begroeiing houdt in dit geval verband met de dikte van de opdooilaag.

11.6 Relatie geomorfologie, materiaaleigenschappen, ouderdom en herkomst van zandige windafzettingen

In deze studie is op grond van materiaaleigenschappen in samenhang met de geomorfologie een onderscheid gemaakt in stuifzandvormen, dekzandvormen en landduinen op de Veluwe. Afgezien van de besproken onderlinge verschillen in bodemprofielontwikkeling is gebleken dat de stuif- en dekzanden wat textuureigenschappen betreft een grote mate van overeenkomst vertonen per regio. Hieruit is gekonkludeerd dat de stuifzanden overwegend bestaan uit lokaal verstoven dekzanden en dat er op de Veluwe geen sprake is van lange transportwegen in bepaalde richtingen, die zich uiten in verschillen in materiaaleigenschappen. Ook de grillige verdeling van uitgestoven laagten en reliëfrijke stuifzand-duinkomplexen, zoals die in de gekarteerde stuifzandgebieden voorkomt, is hiermee in overeenstemming. Dit geldt ondanks het feit dat uit de gemeten oriëntatierichtingen van afzonderlijke stuifzandvormen en van stuifzandgebieden een overduidelijke dominantie van WZW-ONO richtingen bleek, die nauw samenhangt met de overheersende windrichting behorende bij hoge windsnelheden, waarbij de hoofdmoot van het zandtransport optreedt.

Alhoewel de verschillen in korrelgrootteverdeling tussen de stuif- en dekzanden gemiddeld gesproken gering zijn, is gekonstateerd dat de stuifzanden over het algemeen iets sterker gesorteerd zijn en een iets lagere positieve scheefheid en lagere gepiektheid bezitten ten opzichte van de qua regio hiermee samenhangende dekzanden. De stuifzanden vertonen ook wat minder variatie in korrelgrootteverdeling dan de dekzanden. Over het algemeen bestaat er echter geen verschil in grofheid of fijnheid tussen stuif- en dekzanden. Het belangrijkste regionale verschil in korrelgrootteverdeling van de stuifzanden bestaat hierin, dat de hoog gelegen stuifzanden op de stuwwal van de oostelijke Veluwe over het algemeen grover zijn en een lagere sorteringsgraad bezitten dan de stuifzanden op de Midden- en Noord-Veluwe. De gekonstateerde verschillen in mineralogische samenstelling en in afrondingsgraad tussen de stuifzandregio's onderling en tussen de stuif- en dekzanden wijzen op het uniforme karakter van de stuifzandafzettingen en zijn hoofdzakelijk toegeschreven aan bestaande verschillen in deze materiaaleigenschappen van de lokale herkomstmaterialen. Gebleken is dat de stuifzanden ten opzichte van de dekzanden gekenmerkt worden door een aanzienlijk lossere pakking van het materiaal, zoals deze kwantitatief benaderd is door metingen van het verloop van de indringingsweerstand. De landduinen op de Veluwe worden evenals de dekzanden gekenmerkt door een sterk ontwikkeld bodemprofiel aan de oppervlakte en een minder losse pakking van het materiaal dan de stuifzanden. Wat overige materiaaleigenschappen betreft gelijken de landduinzanden op dekzanden, zij het dat met name de op de stuwwal van de Woldberg voorkomende zandruggen (pseudo-osar) over het algemeen grover zijn dan de stuif- en dekzanden.

Wat betreft reliëfontwikkeling kunnen de stuifzandvormen, dekzandvormen en landduinen op de volgende wijze getypeerd worden. In vele gevallen is alleen al op grond van het reliëftype een onderscheid mogelijk in de drie genoemde eenheden. Daarnaast echter bestaan overlappingen in reliëftype tussen deze eenheden. Zo komen er stuifzandgebieden voor met een vlak tot zwak golvend reliëf gelijk aan dat van vele dekzandgebieden. Tevens bestaan er reliëfrijke landduingebieden, die wat reliëftype sterk gelijken op dat van sommige stuifzandgebieden. Sommige stuifzandruggen (transversale randwalduinen) vertonen wat vorm aangaat gelijkenis met langgerekte landduinen (longitudinale pseudo-osar). Gezien deze overlappingen in reliëftype is het wat vormeigenschappen betreft alleen met behulp van maximaal voorkomende hoogtes en hellingshoeken mogelijk de drie eenheden te typeren.

De stuifzandvormen bezitten overwegend hoogteverschillen tussen 1,5-10 m, maar in uitzonderingsgevallen komen hoogtes voor tot 20 m boven de direkte omgeving, terwijl de maximale hellingshoeken in stuifzandheuvels overwegend liggen tussen 15°-33°, en als absolute maximum 47° gemeten is. Het steilste hellinggedeelte wordt meestal aangetroffen op de halve hoogte van de heuvels, daar waar het buigpunt tussen de relatief lange concave helling en de relatief korte convexe helling ligt. Stoutjesdijk (1959) vermeldt het voorkomen van met helm begroeide, in lengtedoorsnede asymmetrische

stuifzandheuvels, die aan de westzijde (loefzijde) hellingshoeken bereiken tot 18° en aan de oostzijde (lijzijde) tot 30°. De maximale hellingshoeken, die volgens Stoutjesdijk (1959) voorkomen bij door eikenhakhout begroeide stuifzandheuvels, lopen zelfs op tot 47°. In aktieve stuifzandgebieden komen gemiddeld wat lagere maximale hellingshoeken in stuifzandheuvels voor dan in de door vegetatie vastgelegde stuifzandgebieden.

De dekzandvormen bezitten volgens gegevens van de Stichting voor Bodemkartering een maximale hoogte van < 5 m en de maximale helling in dekzandruggen variëert overwegend van 0,5°-6°, terwijl als absolute maximum een hellingshoek van < 15° opgegeven wordt. Otto (1959), die het mikroreliëf van een dekzandgebied in de Gelderse Vallei bestudeerd heeft, konstateerde dat 80% van de oppervlakte een helling bezit van < ca 0,5° en slechts 2% van de oppervlakte hellingen heeft van > ca 1,5° -maximaal 4°. In dit geval zijn echter hellingshoeken berekend over 25 m lange trajekten. De gemiddeld grootste hoogteverschillen per ha bedragen minder dan 2 m. Met name op de hogere delen van de Veluwe komen in reliëfrijkere dekzandgebieden grotere hoogteverschillen en hogere hellingshoeken voor dan de laatst genoemde waarden.

Wat betreft de landduinen op de Veluwe zijn alleen gegevens bekend van de zandruggen (pseudo-osar) op de stuwwal van de Woldberg tussen Welna en Wapenveld.* De hoogtes van de hier voorkomende duinen zijn overwegend < 10 m en het maximale hoogteverschil ten opzichte van de direkte omgeving bedraagt < 15 m. De maximale hellingshoeken in de ruggen variëren overwegend van 5°-15°, terwijl als absolute maximum 25° gemeten is. De hellinggegevens van de stuifzandvormen en de landduinen zijn gebaseerd op grote aantallen waarnemingen, die verricht zijn met behulp van een pantometer, waarmee de hellingshoeken steeds over 1,5 m lange trajekten bepaald zijn. Aldus zijn hoogteprofielen gemeten volgens diverse oriëntatierichtingen over de stuifzandheuvels en van de rugvormen zijn zowel in de lengte- als in de dwarsrichting hoogteprofielen gemeten.

Gebleken is dat de stuifzanden overwegend na het begin van de Late Middeleeuwen tot thans zijn afgezet, terwijl op enkele plaatsen aanwijzingen voor stuifzandsedimentatie van eerdere datum zijn gevonden. De dekzanden en de landduinafzettingen daarentegen zijn voorzover bekend overwegend in het Laat-Glaciaal tot mogelijk vroeg-holocene tijd afgezet. In tabel 11.2 zijn de hiervoor besproken eigenschappen en kenmerken van de stuif- en dekzanden en landduinafzettingen samengevat. In deze tabel wordt, naar analogie van de indeling in Jonge en Oude Duin Afzettingen langs de kust, voorgesteld de zandige windafzettingen, die op grond van hun materiaaleigenschappen behoren tot de Formatie van Kootwijk, onder te verdelen in Jonge en Oude Stuifzanden. De Oude stuifzanden onderscheiden zich van de Jonge stuifzanden, voorzover tot nog toe bekend is, alleen door een matige tot sterke bodemprofielontwik-

*Deze gegevens zijn ter beschikking gesteld door Drs. J.J.M. van der Meer.

	tijdschaal (logaritmisch)/ time scale (logarithmic)	8000 7000 6000 5000 4000 3000	2000 1000 v Chr/ B.C. 0 na Chr/ A.D.	1000
	afzetting/ deposit	dekzanden/ landduinafzettingen/ cover sands/ inland dune deposits	Oude stuifzanden/ Older drift sands	Jonge stuifzanden/ Younger drift sands
materiaal/material	pakking/ grain packing	vast/ dense	(matig) los/ (moderately) loose	los/ loose
materiaal/material	humeuze laagjes/ humose layers	afwezig/ absent	aanwezig/ present	aanwezig/ present
materiaal/material	korrelgrootteverdeling/ grainsize distribution	heterogeen, sterk gesorteerd/ variable, well-sorted	homogeen, zeer sterk gesorteerd/ uniform, very well-sorted	homogeen, zeer sterk gesorteerd/ uniform, very well-sorted
materiaal/material	kryoturbate strukturen/ cryoturbation structures	aanwezig/ present	afwezig/ absent	afwezig/ absent
materiaal/material	bodemprofielontwikkeling/ soil profile development	sterk/ strong	matig tot sterk/ moderately to strong	matig tot afwezig of mikropodsol/ moderately to absent or micropodzol
morfometrie/morphometry	hoogteverschillen, overwegend/ height differences, predominantly	<2.5 m/<10 m	—	1 5 . 10 m
morfometrie/morphometry	hoogteverschillen, maximaal/ height differences, maximum	<5 m/<15 m	—	< 20 m
morfometrie/morphometry	maximale hellingshoeken, overwegend/ maximum slope angles, predominantly	0.5°. 6° / 5°. 15°	—	15°. 33°
morfometrie/morphometry	maximale hellingshoeken, absoluut maximum/ maximum slope angles, absolute maximum	< 15° /25°	—	47°
	lithostratigrafische benaming/ lithostratigraphic name	Formatie van Twente/ Twente Formation	Formatie van Kootwijk/ Kootwijk Formation	Formatie van Kootwijk/ Kootwijk Formation
	ouderdom/ age	Laat-Glaciaal/ Late Glacial; Preboreaal/ Preboreal; Boreaal/ Boreal; Atlanticum/ Atlantic	Subboreaal/ Subboreal	Subatlanticum/ Subatlantic

Tabel 11.2
Eigenschappen en kenmerken van zandige windafzettingen op de Veluwe
Properties and characteristics of eolian sand deposits in the Veluwe

keling. De Jonge stuifzanden dateren evenals de Jonge Duin Afzettingen langs de kust van na de aanvang van de Late Middeleeuwen, terwijl de Oude stuifzanden overwegend afgezet zijn vanaf de overgang Atlanticum-Subboreaal (vergelijk figuur 3.6).

Het hierna volgende over de herkomst van het materiaal in de diverse Veluwse stuifzandgebieden is ten dele gebaseerd op het in deze studie besproken geomorfologische onderzoek en de sedimentanalyses, maar heeft zeker wat betreft de met de stuifzanden samenhangende dekzanden nog een enigszins hypothetisch karakter.

De stuifzanden zijn in hoofdzaak ontstaan door eolische resedimentatie van windafzettingen, die in verband met de lokale omstandigheden vastgelegd zijn in het Laat-Glaciaal of in het Vroeg-Holoceen. Waarschijnlijk vond de vastlegging van deze sedimenten op de 'rijkere' gronden eerder plaats dan op de 'armere' gronden, waar dit mogelijk eerst in het Boreaal plaats vond. De bovenvermelde vastleggingstijd geldt voor de hogere terreinen; hoger dan 20 m + NAP. op de Veluwe. Het materiaal van deze windafzettingen is afkomstig uit door sneeuwsmeltwater verplaatste afzettingen en zowel uit de dalen als uit de zandige delen van de sneeuwsmeltwaterwaaiers, als uit de zandige gestuwde en fluvio-glaciale pakketten.

De stuifzandgordel op de Noord-Veluwe is gevormd door lokale verplaatsing van dekzanden, die op hun beurt waarschijnlijk voor een groot deel afkomstig zijn uit de sneeuwsmeltwaterwaaier liggend voor de opening van de Vallei van de Leuvenumse Beek. Op de noordelijke Veluwe is een stuifzandarme zone aanwezig, die aan de noordzijde globaal begrensd wordt door de lijn Ermelo-Leuvenum-Vierhouten-Hattem en aan de zuidzijde door de lijn Voorthuizen-Uddel -Vaassen. Dit kan verklaard worden door de aanwezigheid van de stuwwal van Garderen, die deze zone aan de westzijde begrenst en door de afwezigheid van grote, zandige sneeuwsmeltwaterwaaiers in dit deel van de Vallei van de Leuvenumse Beek en tevens door de vochtiger omstandigheden in dit laatste gebied gedurende de Jonge Dryastijd en het Vroeg-Holoceen. De ontstaansvoorwaarden van de juist in deze zone op de stuwwallen van de oostelijke Veluwe en de Woldberg veelvuldig voorkomende landduinen (pseudo-osar), die overwegend gedateerd zijn van na de Allerødtijd, zijn onbekend.

De grote uitbreiding van de stuifzanden van het westelijke deel van de Midden-Veluwe kon plaats vinden dankzij de aanwezigheid van dekzandpakketten op de hoge sneeuwsmeltwaterwaaiers, waarbij mogelijk de zandige delen van deze waaiers ook in de verstuiving waren betrokken. De dekzanden waren tenminste tot en met de Jonge Dryastijd in beweging, in tegenstelling tot de laag gelegen dekzanden in de Gelderse Vallei. Het is mogelijk dat in de relatief smalle, niet-verstoven zones tussen de hier voorkomende stuifzandgebieden minder dikke dekzandpakketten zijn afgezet ten gevolge van het afstromen van sneeuwsmeltwater en de hiermee samenhangende dichtere begroeiing. De langs de stuwwallen van Ede en Oud-Reemst voorkomende stuifzanden zijn ontstaan door lokale verplaatsing van relatief dikke gordeldekzandpakketten.

De stuifzanden van het oostelijke deel van de Midden-Veluwe zijn afkomstig van dekzanden, die op hun beurt afkomstig kunnen zijn van de zandige delen van de hoge sneeuwsmeltwaterwaaiers. Het zandige materiaal kan tenminste tot en met de Jonge Dryastijd in noordoostelijke richting over de stuwwal van de oostelijke Veluwe zijn geblazen en kan gedurende dit transport lokale, grofzandige komponenten opgenomen hebben. Het naar het noordoosten getransporteerde zand liep uiteindelijk vast in de vegetatie in het lagere deel van de oostelijke stuwwalflank en in de IJssel Vallei. De stuifzanden van de zuidelijke en zuidoostelijke Veluwe zijn afkomstig van dekzanden, die op hun beurt weer voor een groot deel afkomstig zullen zijn uit door sneeuwsmeltwater verspoelde materialen in de dalen van de sandr-vlakte. Op de stuwwal van de oostelijke Veluwe komen tevens stuifzanden voor, die direkt ontstaan kunnen zijn door lokale verplaatsing van zandige, gestuwde, preglaciale afzettingen.

12 VERBREIDING EN AARD VAN STUIFZANDEN EN LAND- (EN RIVIER)DUINEN IN NOORD-, WEST- EN MIDDEN-EUROPA

12.1 Verbreiding

Keilhack (1917) heeft als eerste uitvoerig aandacht besteed aan de verbreiding en betekenis van de West- en Midden-Europese landduinen, die een veel groter areaal in beslag nemen dan de destijds en thans nog steeds uitvoeriger bestudeerde kustduinen. Keilhack (1917) suggereert in een overzichtskaartje een genetisch verband tussen de ligging van de grote landduingebieden en het patroon van oerstroomdalen. Högbom (1923) bespreekt tevens de landduinvoorkomens in de Scandinavische landen.

Teneinde een recent overzicht te kunnen geven van de verbreiding van de lokaties waar landduinen (c.q. stuifzanden, 'Dünen', 'Flugsandfelder', ten dele ook wel omschreven als rivierduinen) voorkomen, is een overzichtskaart vervaardigd van een deel van West- en Midden-Europa (fig. 12.1), waarbij gebruik is gemaakt van de volgende publikaties en kaarten: Keilhack (1917); Högbom (1923); Woldstedt (1955); Galon (1959); Sekyra (1961); Pyritz (1972); Vossmerbäumer (1973); Geomorfologische kaart van Nederland, 1:600.000 (1974); Bodemkaart van Nederland, 1:200.000 (1965); Polska mapa geomorfologiczna, 1:500.000, Warszawa (1972); Deutscher Planungsatlas - Band Schleswig-Holstein, Blatt Bodentyp und Bodenart, 1:500.000 (1970); Geologische Ubersichtskarte von Deutschland, 1:300.000, Berlin (1924); Geologische Ubersichtskarte Nordrhein-Westfalen, 1:500.000, Krefeld (1963); Geologische Karte von Bayern, 1:800.000, München (1957); Geologische Ubersichtskarte von Südwestdeutschland, 1:600.000, Baden-Württemberg (1954); Kvartérgeologieké mapê půd C.S.S.R., 1:1.000.000, Praha (1966); International Quaternary Map of Europe, 1:2.500.000, UNESCO (1970/71); en diverse grootschalige kaarten. Op deze kaart zijn tevens schematisch de lokaties van de kustduingebieden in dit deel van Europa weergegeven. Het is op grond van de literatuur in vele gevallen niet mogelijk uit te maken of gesproken wordt over stuifzanden, in de zin zoals in deze studie is gedefiniëerd, of over overige zandige windafzettingen met een duinreliëf. Om deze reden wordt in dit hoofdstuk de benaming landduinen in algemene zin gebruikt voor alle zandige windafzettingen, die herkenbaar zijn door hun duinreliëf, ongeacht de materiaaleigenschappen, het al dan niet voorkomen van een bodemprofiel aan de oppervlakte en de ouderdom van afzetting. In dit hoofdstuk wordt de benaming stuifzanden uitsluitend gebruikt wanneer duidelijk is dat met de Nederlandse stuifzanden vergelijkbare materialen bedoeld worden.

Wessely (1873) is de eerste, die zich aan een schatting gewaagd heeft van het oppervlak aan 'Flugsandgegenden', namelijk ca 17.000 km^2 in het Noordeuropese laagland van Nederland tot aan Rusland, ca 1.000 km^2 in Sleeswijk -Holstein en Jutland, ca 2.000 km^2 in de Oostenrijks-Hongaarse Donauvlakte, en ca 270 km^2 in Les Landes, Frankrijk. Keilhack (1917) schatte het oppervlak van landduingebieden in het toenmalige Duitsland en Polen op 12.000 à 15.000 km^2. De kleine stippen op de kaart geven de globale lokatie weer van één of enkele bij elkaar gelegen, klein(e) landduingebied(en); de grote stippen geven grote aaneengesloten landduingebieden of een groot aantal, bij elkaar gelegen landduingebieden weer. Gezien de diversiteit van gegevens, geraadpleegde kaartschalen en verwarrende bodemkundige of geologische benamingen voor gebieden waar landduinen voorkomen, is het bij de hier gekozen kaartschaal niet doenlijk werkelijke arealen te karteren. Om deze redenen is gekozen voor het alleen aangeven van de lokaties van de afzonderlijke, vaak relatief kleine landduingebieden. Dekzandgebieden, '(Flug)decksanden', 'Flugsandebenen' en andere reliëfarme, eolische vormingen, zoals zandige loess, loessleem, loess en aanverwante afzettingen zijn op de kaart niet aangegeven.

Het globale verloop van de belangrijkste oerstroomdalen is in figuur 12.1 ingetekend naar gegevens van Keilhack (1917), Woldstedt (1955), Marcinek & Nitz (1973) en Woldstedt & Duphorn (1974), gezien de verwantschap met de lokaties van de belangrijkste landduingebieden. Het Rijndal stroomafwaarts van Duisburg (0) heeft als smeltwaterdal gefungeerd tijdens het Amersfoort Stadium van de Saale-tijd. Het Ems-Vecht oerstroomdal (I) houdt mogelijk eveneens verband met de Saale-glaciale ijsuitbreiding (Osning Stadium); het Breslau (Wroclaw)-Magdeburg-Bremen oerstroomdal (II) wordt beschouwd als smeltwaterdal uit de Warthe-tijd; het zogenaamde Glogau-Baruth oerstroomdal (III) houdt verband met het Brandenburg Stadium van de Würm-tijd; het Warschau-Berlin oerstroomdal (IV) houdt verband met het Frankfurter Stadium van de Würm-tijd; het Thorn-Eberswalde oerstroomdal (V) is ontwikkeld tijdens het Pommerse Stadium van de Würm-tijd; en het oerstroomdal in het uiterste noordoosten van het gekarteerde gebied houdt mogelijk verband met het Velgaster (of Rigaer) Stadium van de Würm-tijd (Wolstedt, 1955). In hoeverre de tal-

Figuur 12.1
De verbreiding van stuifzanden en land- (en rivier) duinen in West- en Midden-Europa
The areal distribution of drift sands and inland (and river) dunes in western and central Europe
1 - lokaties stuifzand-, land- (en rivier) duingebieden (oppervlakte zie tekst)/locations drift sand, inland (and river) dune areas (areal extent see text), 2 - kustduinen/coastal dunes, 3 - oerstroomdalen (0-VI - naamgeving zie tekst)/glacial drainage channels (pradolina's, 0-VI - nomenclature see text), 4 - 200 m hoogtelijn/200-metre contour line, 5 - begrenzing van holocene mariene afzettingen/boundary of Holocene marine deposits, 6 - ijsuitbreiding gedurende het Pommerse Stadium (Würm)/ice limit during the Pomeranian Readvance (Würmian), 7 - maximale ijsuitbreiding (Saale en Elster)/maximum ice limit (Saalian and Elsterian), 8 - landsgrenzen/national frontiers

loze N-Z gerichte, via het huidige rivierenpatroon verlopende, dwarsverbindingen tot het systeem van oerstroomdalen gerekend moet worden of niet, is niet duidelijk. Wolstedt (1955) ziet hierin voornamelijk delen van het oorspronkelijke afwateringspatroon, die door opdringend landijs gevolgd en vervormd kunnen zijn. In figuur 12.1 is gekozen voor de opvatting van Keilhack (1917), dat een aantal van de belangrijkste dwarsverbindingen tussen de randglaciale dalen beschouwd kan worden als ijssmeltwaterdalen en als zodanig deel uitmaken van het patroon van oerstroomdalen.

De landduinen komen voor in een W-O verlopende zone, die in Nederland en in West- en Oost-Duitsland ca 150 km breed is, en in Polen uitwaaiert tot ca 425 km. Het grootste deel van de lokaties blijkt gebonden te zijn aan de voorkomende grote rivieren, verband houdend met het patroon van de oerstroomdalen. De in België, in Nederland, in Sleeswijk-Holstein en in Jutland voorkomende landduinen of stuifzandgebieden vertonen dit verband met de ligging van rivierdalen slechts voor een klein deel, hetgeen niet verwonderlijk is, daar zij overwegend gebonden zijn aan de dekzandvoorkomens (figuur 3.1), die grote delen van deze landen vlaksgewijs bedekken.

In West-Europa komt de zuidelijke begrenzing van de zone met landduinen globaal overeen met de noordelijke begrenzing van de Europese middelgebergten (ca 200-meter hoogtelijn). In België en West- en Oost-Duitsland begint bovendien direkt ten zuiden van de zone met landduinen het verbreidingsgebied van de loessafzettingen. In Polen komen de landduinen voor ten noorden van de begrenzing van de maximale landijsuitbreiding. In België, Nederland en Noord-Duitsland komt de westelijke en noordelijke begrenzing van de zone met landduinen thans globaal overeen met de grens van de holocene mariene afzettingen. In de Duitse Demokratische Republiek, in Polen en in het aangrenzende deel van de Baltische Sowjet Republieken geeft het Pommerse Stadium van de Würm-tijd globaal de noordelijke begrenzing weer. In Sleeswijk-Holstein en Jutland, dat grotendeels buiten de kaart valt, komen de landduinen voor ten westen van de N-Z verlopende 'Main Stationary Line', die de veronderstelde, maximale, Würm-glaciale landijsuitbreiding aangeeft.

De zone waarbinnen het grootste deel van de landduingebieden voorkomt, valt dus samen met het gebied waar gedurende de diverse glaciaties glaciale en fluvio-glaciale materialen zijn afgezet en dat gedurende de Würm-tijd aan periglaciale omstandigheden onderhevig is geweest. De reeks duingebieden in Sleeswijk-Holstein en Jutland neemt een afzonderlijke positie in ten opzichte van de grote W-O verlopende landduingordel, evenals de volgende landduinvoorkomens: de voornamelijk ten oosten van de Odra nabij Szczecin voorkomende duinen; de ter weerszijden van de bovenloop van de Labe (Elbe) ten oosten van Praag voorkomende duinenreeks; de duinvormen op de Rijnterrassen tussen Karlsruhe en Mainz en de verspreide 'Flugsanddecken und Dünen' langs de Main en Regnitz tussen Frankfurt en Neurenberg.

Op grond van figuur 12.1 is het mogelijk een schatting te maken van het areaal aan landduingebieden (inklusief rivierduinen) in het in kaart gebrachte gebied; de grote stippen representeren gebieden van gemiddeld 25 tot 50 km^2 grootte; de kleine stippen van gemiddeld 5 km^2 grootte.

Nederland	ca			950 km^2
België	ca	200	-	300 km^2
Bondsrep. Duitsland (N. gedeelte)	ca	1400	-	2000 km^2
Bondsrep. Duitsland (Z. gedeelte)	ca	700	-	1100 km^2
D.D.R.	ca	1000	-	1700 km^2
Polen	ca	3500	-	5500 km^2
kaartfragment C.S.S.R.	ca	300	-	500 km^2
kaartfragment U.S.S.R.	ca	550	-	900 km^2
totaal	ca	8500	-	13000 km^2

Het totale areaal aan zandige windafzettingen in dit gebied, inklusief de dekzanden, reliëfarme stuifzanden en aanverwante afzettingen, is uiteraard veel groter. De zuidelijk hiervan gelegen loessgordel, die geheel Europa doorkruist, beslaat eveneens een groter oppervlak.

12.2 Voorkomen, genese en ouderdom; een literatuuroverzicht

Teneinde tenslotte de studie van Nederlandse stuifzanden in een breder kader te kunnen plaatsen en enigszins te voorzien in de bestaande lakune betreffende een overzicht van de literatuur over de geomorfologie en sedimentologie van stuifzanden en landduinen in Europa, wordt hierover per land beknopte informatie gegeven. Polen is het enige land in Europa, waarvan zowel een geomorfologische kaart bestaat, waarop de landduinen zijn aangegeven, als waar een kompilatie van de omvangrijke literatuur over landduinonderzoek verschenen is. De Zuid-Europese en enkele Zuidoost-Europese landen zijn in dit overzicht wegens gebrek aan informatie weggelaten.

Door het initiatief van Seppälä (1975) zal een koördinatie van het onderzoek van landduinen nagestreefd worden en zal voortgegaan worden met het in detail in kaart brengen van de

Europese zandige windafzettingen en bijbehorende terreinvormen en met het samenstellen van een geannoteerde bibliografie.

Noorwegen

De enige recente studie over de verbreiding van de overwegend holocene, na de deglaciatie ontstane duinvormen in Noorwegen is die van Klemsdal (1969). Hij heeft door luchtfoto-analyse een groot aantal plaatsen kunnen lokaliseren, waar duinvorming plaats heeft gevonden. Nader onderzoek ontbreekt evenwel nog. Landduingebieden nemen in Noorwegen een ondergeschikte plaats in en zijn voornamelijk gebonden aan gebieden met fluvio-glaciale afzettingen, waar de vegetatie door de mens, dieren of fluviatiele erosie vernietigd is. Ze komen tevens voor nabij, tijdens deglaciatie gevormde en nadien gedraineerde meren, waarin zandige glacio-lacustriene afzettingen na het droogvallen in verstuiving konden geraken. Landduinkomplexen komen ondermeer voor in het Setesdal in Zuid-Noorwegen, ten zuiden en ten noorden van het Mjösa meer ten noorden van Oslo, en in de omgeving van het Osterdal ten oosten van Dombas; een belangrijk duingebied komt voor op randglaciale delta-afzettingen in Romerike.

Zweden

Högbom (1923) geeft in zijn handboek een overzicht van landduinvoorkomens in Scandinavië en stelt, dat de grootste en best ontwikkelde duinen in Zweden voorkomen op de randglaciale delta's, bestaande uit fluvio-glaciale afzettingen, direkt onder de hoogste finiglaciale kustlijn. Lundqvist (1959) geeft eveneens een korte samenvattende bespreking van eolische vormen en hun lokaties. Duinen nemen in Zweden slechts relatief kleine oppervlakken in beslag. Ze komen voornamelijk voor in Skåne, in Centraal Zweden in de omgeving van de Väner-en Vättermeer, verspreid in Svealand, in de omgeving van het Siljanmeer in Dalarna, in Noord-Zweden langs de Ume en verspreid in Zweeds Lapland. Vorming van het belangrijke duinkomplex nabij Mora in Dalarna vond volgens Sundborg (1955) voornamelijk in het Boreaal vanaf 7000 v. Chr. plaats. De landduinen in Zweden zijn tot nu toe slechts summier onderzocht. Seppälä (1972) geeft een overzicht van landduinvoorkomens in noordelijk Zweden gebaseerd op luchtfoto-interpretatie. In de meeste gevallen komen hier paraboolvormige duinreeksen voor in de direkte nabijheid van eskers en andere fluvioglaciale vormingen. Recente deflatieverschijnselen worden volgens Seppälä (1972) voornamelijk door bosbranden geaktiveerd.

Finland

Landduinen komen in Finland veelvuldig voor in Karelië in de omgeving van Joensuu en Tohmajärvi, in Midden Finland in de omgeving van het Oulu meer, en verspreid in Fins Lapland. Lumme (1934) geeft een overzicht van de ligging van alle tot dan bekende duinvoorkomens in Finland. Recente studies over landduinen zijn gepubliceerd door Seppälä (1969, 1971, 1974), en Lindroos (1972). In Fins Lapland komen uitgestrekte duinkomplexen voor, gebonden aan fluviatiele en fluvio-glaciale afzettingen en op opgeheven stranden. Lindroos (1972) bespreekt in zijn dissertatie de geomorfologie, materiaaleigenschappen en ouderdom van laat- en post-glaciale duinen in Noord-Karelië. Duinvorming is in dit gebied gebonden aan fluvio-glaciaal materiaal in de direkte nabijheid van Salpausselka II en heeft voornamelijk plaats gevonden in de periode van 8100 tot 6800 v. Chr. Laat-holocene resedimentatie vond lokaal plaats tot het begin van deze eeuw. Een andere belangrijke studie over duinvorming van Seppälä (1971) handelt over de morfogenese van landduinen in de Kaamasjoki-Kiellajoki riviervlakte in Fins Lapland. Ook in dit gebied vond de belangrijkste duinvorming plaats kort na de deglaciatie vanaf ca 7700 v. Chr. In het Subatlanticum vond slechts (sub)recente deflatie en deformatie van duinvormen plaats. Een groot, ten dele nog aktief duingebied komt voor in Fins Lapland bij Hietatievat (Seppälä, 1974). Jauhiainen (1970, 1972) verrichtte onderzoek over de bodemprofielontwikkeling in landduinzanden.

Denemarken

Ca 3% van het Deense landoppervlak is bedekt met duin- en dekzanden. Het totale oppervlak, ingenomen door kust- en landduinen, wordt geschat op ca 1400 km ^{2} (schrift. meded. S. Hansen, 1972). Het grootste deel hiervan wordt in beslag genomen door een wat genese en ouderdom betreft met de Nederlandse kustduinen vergelijkbare, langs de westkust van Jutland vanaf Esjberg tot aan Skagen voorkomende duinenrij. De tamelijk kleine, geïsoleerd liggende stuifzandgebieden komen met uitzondering van de stuifzanden nabij Gatten voor ten westen van de 'Main Stationary Line' op hogere terreingedeelten (zogenaamde 'hill-islands'), bestaande uit glaciale en fluvioglaciale afzettingen uit de Saale-tijd, en op de vlakke, lager gelegen sandrvlakten en in smeltwaterdalen uit de Würm-tijd. De stuifzanden zijn wat hun lokatie betreft grotendeels gebonden aan laat-glaciale dekzandvoorkomens. Volgens Hansen (1965) vond resedimentatie van laat-glaciale dekzanden plaats tijdens het Boreaal en in de Vroege IJzertijd. Recent onderzoek (Koster, in prep.) toont aan dat

de Late Middeleeuwen ook in Denemarken een belangrijke periode van resedimentatie vormden. Deense studies over landduinen zijn verschenen van Hansen (1959), Jonassen (1954), Kuhlman (1960) en Sørensen (1972).

IJsland

Alhoewel bodemerosie mede onder invloed van de wind in IJsland voornamelijk in historische tijd op grote schaal heeft plaats gevonden (Thorarinsson, et al., 1960; Thorarinsson, 1963), komen geen eigenlijke landduinen van formaat voor (schrift. meded. S. Thorarinsson, 1972). Gebieden met zandverstuivingen – een groot deel van het door de wind verplaatste materiaal is overigens vulkanische as – komen voor ten zuidwesten van de Vatnajökull, ten noorden van de Vatnajökull langs de Jökulsá á Fjöllum, ten zuiden van Myrdalsjökull en ten oosten van Mývatn tussen Reykjahlid en Grimsstadir. Publikaties over landduinvorming in IJsland ontbreken.

Groot-Brittannië

Volgens Williams (1975) en de 'Quaternary map of the United Kingdom, 1 st. edition 1977, 1:625.000' komen zandige windafzettingen, die voor een deel vergeleken kunnen worden met de landduinen elders in Europa, voor ten noorden van York (Matthews, 1970), in Noord Lincolnshire (Straw, 1963), in de Trent valley in Nottinghamshire en tussen Selby en Goole langs de River Ouse, in de omgeving van Scunthorpe ten oosten van Doncaster en ten westen van de Lincolnshire Wolds (Catt, 1977; Buckland, in press), nabij Rainford, Salford en in de Shirdley Hill Sands in Lancashire. Ter weerszijden van de Little Ouse River nabij Thetford in The Breckland op de grens van Norfolk en Suffolk komen tenslotte stuifzandgebieden voor, die in de loop van de vorige eeuw grotendeels door naaldhoutbebossing zijn aangelegd (Stoutjesdijk, 1959; Sparks & West, 1972; Perrin et al., 1974). Alleen de duinzanden ten noorden van York en die in The Breckland zijn voorzover bekend in enig detail onderzocht door Matthews (1970) respektievelijk Watt (1937), terwijl Holland (1975) als enige subatlantische verstuivingen nabij Scunthorpe ten gevolge van ontbossing heeft gedateerd. Uit Schotland en Noord-Ierland zijn geen landduinen of aanverwante vormen en afzettingen bekend.

Ierse Republiek

Voor zover bekend komen hier geen landduinen voor.

België

Landduinen komen in het noordelijke deel van België voor in Oost-Vlaanderen in een smalle W-O georiënteerde strook ten oosten van Brugge, ter weerszijden van de Schelde tussen Gent en Antwerpen, langs de Dijle ten oosten van Mechelen, nabij Kalmthout als voortzetting van de grote stuifzandgordel in zuidwestelijk Noord-Brabant, en verspreid in de Antwerpse Kempen en het Kempisch Plateau. Informatie over genese en ouderdom van stuifzanden staat vermeld in de studie van De Ploey (1961) over de Antwerpse Noorderkempen. Eerdere studies over de morfologie en ouderdom van duinvormen zijn die van Peeters (1943) en Gullentops (1957). Als belangrijkste perioden, waarin zandtransport en duinvorming plaats vonden, worden beschouwd: de Oude en Jonge Dryastijd, lokale aktiviteit in het Preboreaal en in de loop van het Boreaal, het tweede deel van het Subboreaal en tenslotte vanaf de Vroege Middeleeuwen.

Luxemburg

Uit Luxemburg zijn geen landduinvoorkomens bekend.

Frankrijk

Landduinen van enige omvang komen in Frankrijk volgens de 'Carte géologique du Quaternaire de la France, 1:1.000.000, 1973 (dunes Holocènes)' voor nabij Fontainebleau en Melun ten zuiden van Parijs (Allier, 1966), ten noorden van Rambouillet ten zuidwesten van Parijs, ten zuiden van Bourges, langs de Loire nabij Angers en langs de Cher nabij Alency. Het enige gebied waar over grote oppervlakken (ca 1200 km^2) zandige windafzettingen gedeponeerd zijn ligt in de departementen Landes en Gironde tussen de mondingen van de Adour en de Gironde en aan de westzijde begrensd door een strook met jonge kustduinen. Afgezien van lokale duinvormen liggen deze goed gesorteerde, pure kwartszanden met een dikte tot enige meters als een (dekzand)dek over alle oudere afzettingen heen. Alhoewel de herkomst en genese van deze afzettingen nog weinig onderzocht is (Alimen, 1967), veronderstelt Guinaudeau (1974), dat het materiaal in oorsprong afkomstig is van fluvio-glaciale afzettingen in het voorland van de Pyreneeën en het Centraal Massief, die door rivieren naar zee zijn gevoerd, vervolgens door zeestroming langs de kust op het strand zijn gebracht en vandaar verstoven zijn. Afgezien van windtransport tijdens het Laat-Glaciaal, Subboreaal en het Vroeg-Subatlanticum heeft een belangrijk deel van de duinvorming eerst plaatsgevonden tijdens en na de Middeleeuwen.

Bondsrepubliek Duitsland

De Duitse literatuur over de geomorfologie van landduinen en het onderzoek van aan-

verwante vormen en afzettingen is omvangrijk, maar voor een belangrijk deel van oudere datum. Recente overzichtswerken ontbreken. Als ingang tot de Duitse literatuur kan verwezen worden naar de literatuurlijsten van Gripp (1967), Pyritz (1972) en Hesemann (1975). De belangrijkste landduingebieden in Duitsland komen voor: a. in Sleeswijk-Holstein in een N-Z georiënteerde zone, die zijn voortzetting vindt in Jutland; b. in het Noordduitse laagland langs en nabij de volgende rivieren: de Ems en haar zijrivieren de Hase, Leda en Soeste; de Rijn en de Lippe; de Vecht; de Wezer en haar zijrivieren de Hunte, Delme, Wümme, Aue, Böhme, Leine, Oertze, Oker en Aller; de Oste; de Elbe en haar zijrivieren de Netze, Elde, Mulde en Spree; c. langs de Rijn tussen Karlsruhe en Mainz; ter weerszijden van de Main en haar zijrivieren de Regnitz en Pegnitz (Vossmerbäumer, 1973); en langs de zijrivieren van de Donau, de Naab en Regen. Als belangrijkste periode waarin duinvorming plaats vond, wordt algemeen het Laat-Glaciaal aangewezen. Pyritz (1972) toonde echter aan, dat grote delen van de 'Binnendünen' en 'Flugsandebenen' in Niedersachsen eerst van holocene ouderdom zijn. Het literatuuronderzoek wijst uit, dat dit tevens het geval zal zijn in Nordrhein-Westfalen en Sleeswijk-Holstein. In het westelijk deel van Niedersachsen komen relatief meer jonge duinvormingen voor dan in het oostelijk deel. In de studie van Pyritz (1972) worden tevens lokaties in Niedersachsen besproken, waar subatlantische stuifzandkomplexen voorkomen, die wat ouderdom en vormontwikkeling betreft volkomen vergelijkbaar zijn met die in Nederland.

Duitse Demokratische Republiek

Gegevens over zandverstuivingen en duinvorming in de D.D.R. zijn ondermeer te vinden in de studies van Noack (1966), Mücke & Linke (1967), Linke (1968) en Marcinek & Nitz (1973). In het centrale deel van de D.D.R. nemen duinvormen grote oppervlakken in beslag voornamelijk ter weerszijden van de rivieren de Elbe, Havel en Spree. Duinvorming heeft voornamelijk plaats gevonden in het laatste deel van de Würm-tijd en resedimentatie van materiaal vond plaats overwegend vanaf de Late Middeleeuwen.

Zwitserland

Landduinen zijn in Zwitserland een zeldzame verschijning en literatuur dienaangaande is niet gevonden. Ellenburg (1963) vermeldt alleen het voorkomen van kleine duingebieden in het zuidelijk deel van Wallis en aan de noordwestelijke zijde van de Neuenburger See.

Oostenrijk

Zandige windafzettingen komen hier weinig voor en zijn slechts zelden nader onderzocht. Beschrijvingen van laat-glaciale dekzandachtige afzettingen ('Alteren Flugsand') en ten dele door antropogene invloeden, door verstuivingen daaruit, gevormde laat-holocene stuifzanden ('Jungeren Flugsand') op de Praterterrasse en Gänsendorfer Terrasse in het Marschfeld langs de Donau nabij Wenen zijn gevonden in de studies van Grill (1968) en Fink et al. (1955). De stuifzanden vormen hier een onderbroken, ca 30 km lange, WNW-OZO georiënteerde, voor een gering deel nog aktieve duinenrij.

Polen

Van alle Europese landduingebieden zijn die in Polen verreweg het meest intensief bestudeerd en tevens in kaart gebracht. Zowel wat betreft vormontwikkeling, genese als chronologie bestaat er een uitvoerige literatuur. De Poolse literatuur betreffende duinvorming omvat minstens 300 publikaties. Naar enkele van de belangrijkste publikaties kan hier verwezen worden: de, onder redaktie van Galon, in 1959 en 1969 uitgegeven, verzamelde artikelen over 'Inland dunes' en 'Dune Processes and forms in Poland'; de belangrijke dissertaties van Rotnicki (1970) en Nowaczyk (1976) en studies voornamelijk over de chronologie van duinvorming van Dylikowa (1958, 1964), Kozarski & Tobolski (1968) en Kozarski et al. (1970). Een bibliografie van Poolse duinstudies, verzameld door J. Kobendzina en U. Urbaniak, staat in Galon (1969). De verbreiding van de Poolse landduinen zoals weergegeven in figuur 12.1, is gebaseerd op de geomorfologische kaart van Polen, 1:500.000, uitgegeven te Warszawa in 1972. Hieruit blijkt dat de meerderheid van de duingebieden gebonden is aan de rivierdalen van de Odra met haar zijrivieren de Notec, Warta, Prosna, Barycz en Bobr en de Wisla met haar zijrivieren de Brda, Wkra, Narew, Biebrza, Bug, Bzura, Pilica, Wisloka, San en Wieprz. De Oudere en Jonge Dryas-tijd worden beschouwd als de tijden waarin de belangrijkste duinvorming plaats vond; het Laat-Holoceen wordt beschouwd als de periode waarin wat vormontwikkeling en verbreiding van duinvormen betreft slechts ondergeschikte resedimentatie optrad.

Tsjechoslowakije

Grotere landduingebieden komen voor ter weerszijden van de Labe (Elbe) tussen Kolin en Pardubice, langs de Thaya (Dyje), de Orlice, de Luznice en ter weerszijden van de Morava ten noorden van Bratislava, in de Zuid-Slowaakse laagvlakte langs de Donau en haar zijrivieren de Vah, Nitra en Hron, en in het uiterste zuidoosten van Slowakije nabij de samenvloeiing van de Ondava en de Latorica. Tenslotte komen ter

weerszijden van de Labe tussen Děčin en Praha duinen voor, ten oosten van de Vltava (Moldau) nabij Praha en langs de Ploučnice. Samenvattende informatie en literatuurreferenties over duinvorming zijn gepubliceerd door Sekyra (1961), Pelisek (1963) en Svoboda et al. (1966). Duinvorming langs de rivieren vond voor een belangrijk deel in het Laat-Glaciaal en lokale resedimentatie van materiaal vond in het Holoceen op beperkte schaal plaats. Op diverse plaatsen langs de rivieren is sprake van een lateraal verband tussen duinzanden en (zandige) loesspakketten, die een veel grotere verbreiding in Tsjechoslowakije hebben. Thans zijn de duingebieden gestabiliseerd, op slechts enkele uitzonderingen na, waar na ontbossing nog recente zandverstuivingen voorkomen.

Hongarije

Ca 20% van het oppervlak van Hongarije is bedekt door pleistocene en jongere zandige windafzettingen (Borsy, 1965). Belangrijke laatholocene duinvormingen komen voor langs de oostelijke oever van de Donau ten zuiden van Budapest tot in de omgeving van Dunaföldvár, ten oosten van de Tisza in de nabijheid van Szolnok tot aan de Russische grens en ter weerszijden van de Szamos rivier in Noordoost-Hongarije. Borsy (1968, 1971) geeft een overzicht van de verbreiding en geomorfologie van de Hongaarse duingebieden en bespreekt het voor Hongarije belangrijke onderzoek over de bescherming van landbouwgebieden tegen winderosie. Duinvorming of resedimentatie in duingebieden vond voornamelijk plaats in de Würm-tijd, in het Boreaal en vanaf de 17e eeuw. Een samenvattende behandeling van windafzettingen in Hongarije is te vinden in de studie van Ronai (1968).

Roemenië

Ruim 2% van Roemenië wordt ingenomen door duinzanden waarvan een deel nog aktief is. De belangrijkste landduingebieden komen voor in Zuid- en Oost-Roemenië langs de Donau en haar zijrivieren de Jiu, Olt, Birlad, Jalomita, Calmatui en Siret en langs de Roemeens-Hongaarse grens ten noorden van Arad en Oradea. Deze gegevens zijn ontleend aan de Carte du Quaternaire 1:1.000.000, Atlas géologique, Bucarest, C. Ghenea et al., 1971. Radulescu (1968) geeft een overzicht van verbreiding, aard en ouderdom van zandige windafzettingen en duingebieden in Roemenië. Duinvorming vond voornamelijk in het Laat-Glaciaal en resedimentatie vond in enkele perioden van het Holoceen tot aan het einde van de 19e eeuw plaats.

Uit het hier gegeven overzicht blijkt dat landduinen en aanverwante vormen en afzettingen grote oppervlakken in beslag nemen in de zone van het Belgisch-Nederlandse — Noordduitse — Poolse laagland. Deze zone zet zich overigens voort in de Baltische Sowjet Republieken, waar grote landduinkomplexen beschreven zijn (Gudelis & Vaitoniene, 1974, 1976). De tweede uitgestrekte zone in Europa waar landduinen voorkomen is de Midden- en Beneden-Donauvlakte, die delen van Oostenrijk, Tsjechoslowakije, Hongarije, Joegoslavië en Roemenië omvat. In de overige Europese landen komen landduinen slechts verspreid over relatief kleine oppervlakken voor.

Fluviatiele en fluvio-glaciale sedimenten blijken de belangrijkste herkomstsedimenten voor de zandige windafzettingen te zijn, terwijl in het grootste deel van de gevallen het laatste deel van de Würm-tijd als belangrijkste periode van zandtransport beschouwd wordt. Een essentiëel verschil in morfochronologie van de in figuur 12.1 in kaart gebrachte gebieden bestaat uit het volgende. De landduinen zijn in Polen en de D.D.R. voornamelijk in het Laat-Glaciaal gevormd en in het Holoceen hebben zich hier slechts qua verbreiding en vormontwikkeling ondergeschikte resedimentatie-perioden voorgedaan. In Nederland en België daarentegen zijn in het Laat-Glaciaal overwegend de veel minder reliëfrijke dekzanden tot afzetting gekomen (met uitzondering van de land- en rivierduinen vanaf de Jonge Dryas-tijd) en is het eigenlijke, thans waarneembare duinenreliëf pas gevormd tijdens resedimentatieperioden in het Laat-Holoceen. De verschillen in morfologie van laat-glaciale zandige windafzettingen in Nederland en Polen komen het beste tot uitdrukking door vergelijking van de betreffende stratigrafische tabellen van Van der Hammen et al., (1967) en Dylikowa (1958, 1964). De landduinen in de Bondsrepubliek Duitsland, die van oudsher ook altijd een voornamelijk laat-glaciale ouderdom toebedacht zijn, hebben hun huidige vorm en verbreiding, ondermeer volgens Pyritz (1972), voor een belangrijk deel eerst in historische tijd door menselijke beïnvloeding verkregen. Het areaal aan 'Jungdünen' in Niedersachsen overtreft dat van 'Altdünen' in grote mate. Daarnaast komen in de Bondsrepubliek Duitsland grote arealen met reliëfarme 'Decksanden' voor. Met andere woorden: van west naar oost gaande in deze zone, neemt de betekenis van laat-glaciale reliëfrijke zandige windafzettingen toe en neemt de betekenis van het Laat-Holoceen als belangrijke periode van resedimentatie en duinontwikkeling relatief af.

SAMENVATTING

Deze fysisch-geografische studie behandelt het onderzoek van de morfogenese, materiaaleigenschappen en ouderdom van de stuifzanden van de Veluwe, die aldaar hun grootste uitbreiding binnen Nederland bezitten.

De zandige windafzettingen in Nederland worden op grond van de materiaaleigenschappen in samenhang met de geomorfologie als volgt onderverdeeld: a. Stuifzanden zijn de aan terrestrische, pleistocene afzettingen ontleende, zandige windafzettingen liggend op een duidelijk ontwikkeld bodemprofiel en tevens de niet op een duidelijk ontwikkeld bodemprofiel rustende, zandige windafzettingen, die gekenmerkt worden door een overwegend licht geelgrijze kleur, een losse pakking en de aanwezigheid van humushoudende laagjes. De stuifzanden bezitten veelal een duinreliëf en behoren tot de Formatie van Kootwijk. b. Dekzanden zijn de laat-pleistocene zandige windafzettingen, die gekenmerkt worden door een duidelijk ontwikkeld bodemprofiel alleen aan de bovenzijde van het pakket, een minder losse pakking dan de stuifzanden, de afwezigheid van humushoudende laagjes, en een vlak tot golvend reliëf. Dekzanden vertonen dikwijls periglaciale verschijnselen en behoren tot de Formatie van Twente. c. Landduinafzettingen bezitten dezelfde materiaaleigenschappen als de dekzanden, maar worden gekenmerkt door een duinreliëf. Zij worden gerekend tot de Formatie van Twente. d. Kustduinafzettingen, die gebonden zijn aan de huidige of vroegere kustlijnen behoren tot de Westland Formatie. e. Rivierduinafzettingen, die gebonden zijn aan huidige of vroegere rivierlopen en die wat materiaaleigenschappen betreft nog sterk overeenkomen met het fluviatiele herkomstmateriaal, worden gerekend tot de Formatie van Kreftenheye.

Het stuifzandreliëf wordt over het algemeen gekenmerkt door een chaotisch patroon van in omtrek en grootte sterk wisselende erosie- en akkumulatiedelen, grote hoogteverschillen op korte afstanden, steile hellingen en het voorkomen van grote aantallen stuifzandheuvels en -ruggen, die niet in de bestaande klassifikaties van duinvormen ingedeeld kunnen worden. Op grond van het overwegend erosieve of akkumulatieve karakter, het al dan niet voorkomen van begraven bodemprofielen, die het oorspronkelijke, voor de verstuiving aanwezige oppervlak aangeven en de vormontwikkeling worden stuifzandgebieden onderverdeeld in 'uitgestoven', 'overgestoven', 'opgestoven', 'ondergestoven' en 'doorgestoven' delen.

Stuifzanden nemen in Nederland een oppervlak van ca 800 km^2 in beslag; hiervan komt ca 230 km^2 voor op de Veluwe. Thans is nog slechts $< 5\%$ van de Veluwse stuifzanden aktief, d.w.z. niet door vegetatie vastgelegd. Per provincie worden de stuifzandlokaties vermeld aan de hand van de topografische kaarten, schaal 1 : 25.000, terwijl de verbreiding van de stuifzandgebieden op de Veluwe besproken wordt in relatie tot de hoogteligging en de aard van het oorspronkelijke reliëf. Vervolgens worden overwegend op grond van de literatuur in beknopte vorm de volgende facetten van stuifzandonderzoek besproken: genese, bodemvorming, vegetatie en mikroklimaat, en ouderdom.

Vanaf de aanvang van het Neolithicum zijn door vernietiging van de vegetatie door de mens op die delen van de Veluwe, waar voor winderosie gevoelige, goed gesorteerde, zandige afzettingen aan de oppervlakte lagen en waar het grondwaterniveau ver onder het oppervlak lag, lokaal verstuivingen opgetreden. Dit proces heeft zich in de loop van de tijd in versterkte mate voortgezet en heeft vooral vanaf de Late Middeleeuwen uitgestrekte zandverstuivingen doen optreden. Sinds het einde van de vorige eeuw is het merendeel van de stuifzanden door naaldhoutbebossing vastgelegd.

De stuifzandgronden worden door hun wisselingen in profieltype op korte afstanden veelal gekarteerd als associaties van duinvaaggronden met vlakvaaggronden of vorstvaaggronden of haarpodsolgronden. Aan de randen van stuifzandgebieden worden holt-, moer- of haarpodsolgronden met een zanddek aangetroffen en kamppodsolgronden.

Ten gevolge van het uitzonderlijke mikroklimaat, de mineralogische armoede en het geringe vochtgehalte van het materiaal en het optreden van stuivend zand komt in de enkele nog bewaard gebleven aktieve stuifzandgebieden een zeer typerende vegetatie voor, die ontstaan is door aanpassing aan de extreme omstandigheden.

In figuur 3.6 zijn de literatuurgegevens over de veronderstelde ouderdom van holocene, zandige windafzettingen in Nederland samengevat. De dateringen zijn voornamelijk verricht door interpretatie van palynologische gegevens.

Door meting van het azimut van de lengte-assen van op topografische kaarten, schaal 1 : 10.000, aangegeven, langwerpige stuifzandvormen en het weergeven hiervan in pooldiagrammen zijn overheersende oriëntatierichtingen bepaald. Dit is eveneens verricht voor stuifzandgebieden op de Veluwe en in geheel Nederland. Zowel de afzonderlijke stuifzandvormen als de stuifzandgebieden blijken

een overheersende oriëntatierichting te bezitten van N 65°/245° E. Indien de veronderstelling, dat het grootste deel van de georiënteerde stuifzandvormen parallel aan de overheersende windrichting is afgezet, juist is, dan moeten de gevonden oriëntatierichtingen nauw verband houden met de overheersende windrichtingen c.q. zandtransportrichtingen in deze gebieden. Teneinde dit na te gaan zijn in pooldiagrammen frequentieverdelingen van de windrichting voor de snelheidsintervallen 0-5 m/sec., 5-10 m/sec. en > 10 m/sec. (periode 1961-1970) en 0-7,5 m/sec. en > 7,5 m/sec. (periode 1951-1960) uitgezet. Bij vergelijking van de gevonden oriëntatierichtingen met de bepaalde overheersende windrichtingen, blijken vooral voor windsnelheden van > 7,5 m/sec. en > 10 m/sec., waarbij de hoofdmoot van het zandtransport plaats vindt, de oriëntatie- en windrichtingen inderdaad praktisch samen te vallen. De oriëntatiegegevens van de stuifzanden zijn tevens vergeleken met die van dekzandvormen, kust- en landduinen in Nederland.

Stuifzanden zijn overwegend min of meer horizontaal gelaagde, fijn gelamineerde zandafzettingen. De laminae hebben onderling verschillende korrelgrootteverdelingen, afhankelijk van de windsnelheden tijdens afzetting. Vandaar dat de korrelgrootteverdelingen van mengmonsters in feite gekombineerde korrelgrootte-frequentieverdelingen van de samenstellende laminae zijn. De korrelgrootteverdeling van enige honderden stuifzand- en dekzandmonsters is bepaald door middel van nat zeven van de frakties tussen 50 en 2000µm. Uit de sommatiekurven zijn percentielwaarden afgelezen en grafische parameters betreffende sortering, scheefheid en gepiektheid van de verdelingen bepaald. De verkregen analysegegevens zijn gegroepeerd op grond van veldkriteria en vervolgens is langs statistische weg getoetst welke overeenkomsten en verschillen bestaan tussen de onderscheiden monstergroepen in afhankelijkheid van de regionale verbreiding, de afzettingshoogte en het type materiaal. Om dit te illustreren zijn spreidingsdiagrammen getekend, waarbij zoveel mogelijk niet of zwak gekorreleerde variabelen tegen elkaar uitgezet zijn.

De stuifzanden bestaan voornamelijk uit leemarm tot zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand, terwijl in uitzonderingsgevallen zwak of sterk lemig, zeer fijn of uiterst fijn zand en leemarm, matig grof zand voorkomt. Met name de op de stuwwal gelegen Oost- en Zuidoost-Veluwse stuifzanden zijn minder goed gesorteerd en grover dan de overige stuifzanden. Tussen stuifzanden gelegen onderaan de loefzijde, op de top en aan de lijzijde van hoge stuifzandruggen zijn geringe maar signifikante verschillen in korrelgrootteverdeling gevonden. Alhoewel blijkt, dat de Veluwse stuifzanden ten opzichte van de ermee samenhangende dekzanden over het algemeen iets beter gesorteerd zijn en een vaak lagere positieve scheefheid en lagere gepiektheid bezitten, is er geen sprake van dat stuifzanden onderscheiden kunnen worden van dekzanden op grond van de korrelgrootteverdeling.

In samenhang met de textuureigenschappen is de mineralogische samenstelling bestudeerd teneinde eventueel optredende verschillen tussen diverse stuifzandregio's en tussen stuif- en dekzanden als gevolg van de lengte van de transportweg of ten gevolge van resedimentatie van wat samenstelling betreft verschillende herkomstmaterialen te onderkennen en verklaren. Wat gehalten aan gekleurde komponenten betreft, blijken de zanden zeer uniform te zijn. Onderzocht is in hoeverre verschillen in gewichtspercentages zware mineralen van de frakties tussen 50-500µm optreden in relatie tot de korrelgrootteverdeling, de bodemvorming en de regionale verbreiding. De stuif- en dekzanden bevatten min of meer gelijke gewichtspercentages zware mineralen en komen wat mineralogische samenstelling aangaat ook sterk overeen. De tussen diverse stuifzandregio's bestaande verschillen worden toegeschreven aan in de herkomstmaterialen bestaande verschillen, die tijdens de lokale resedimentatie bewaard zijn gebleven.

Bij windtransport van zand kan naast selektie in korrelgrootte en -gewicht ook selektie in korrelvorm optreden. Tevens kan mechanische afronding plaatsvinden. Van stuif- en dekzand-kwartskorrels is voor diverse frakties de afrondingsindex bepaald. De mate van afronding blijkt bij deze zanden geleidelijk toe te nemen bij toename van de korrelgrootte. Voor nader vergelijkend onderzoek is de afrondingsindex bepaald voor de in stuifzanden dominerende fraktie 150-210µm. Ook wat mate van afronding betreft blijken de stuifzanden zeer uniform te zijn. Opvallend is overigens dat enkele op de stuwwal van de oostelijke Veluwe en nabij de stuwwallen van Ede en Oud-Reemst gelegen stuifzandgebieden een gemiddeld hogere afrondingsindex bezitten dan de grote, aaneengesloten Midden- en Noord-Veluwse stuifzanden.

Wat oppervlakte-texturen betreft wordt het verband besproken dat bestaat tussen de mate van afronding van stuifzand-kwartskorrels en de mate van mattering, die op zijn beurt het al of niet transparante karakter van de korrels mede bepaalt. Enkele vorm-, afrondings- en op-

pervlakte-textuur-eigenschappen worden geïllustreerd met behulp van met een scanning elektronenmikroskoop vervaardigde opnamen.

Het onderscheid tussen stuifzanden en qua textuur, struktuur en samenstelling hiermee vergelijkbare dekzanden is bij gebrek aan bodemprofielontwikkeling soms moeilijk te maken. Eén van de veldkriteria die dan ter onderscheiding gebruikt kan worden is de pakking van het materiaal. Hiertoe zijn met een penetrometer indringingsweerstandsprofielen gemeten tot 1,20 m diepte. Het poriënvolume in stuifzanden blijft ongeveer konstant bij toenemende diepte, hetgeen duidelijk tot uitdrukking komt in het praktisch gelijk blijven van de indringingsweerstand in de stuifzandprofielen. In dekzanden neemt het poriënvolume over het algemeen snel af met de diepte en de indringingsweerstand neemt in dekzandprofielen dan ook snel toe met de diepte.

Ondanks dat stuifzanden overwegend bestaan uit uiterst tot zeer humusarm (< 1,5% organisch materiaal) zand, is één van de veldkenmerken van stuifzanden het voorkomen van humeuze laagjes, terwijl deze afwezig zijn in dekzanden. Teneinde een onderscheid te kunnen maken tussen humeuze laagjes, die het gevolg zijn van instuiving van (allochtoon) humeus materiaal of van overstoven vegetatie-, gefossiliseerde A0-, A1- of mikropodsol-horizonten is mikromorfologisch onderzoek verricht. Van enkele profielen zijn per horizont of laag middels punttellingen (1000 punten) de diverse typen skeletkorrels, holten en organische materialen in volumeprocenten bepaald.

De volgende humuskomponenten zijn onderscheiden: niet of weinig gehumificeerde plantenresten, waarvan de weefselstruktuur nog herkenbaar is; humusbrokjes overwegend bestaande uit sterk gehumificeerde, opake plantenresten en of uit disperse humus; humusballen die tegelijkertijd met de minerale bestanddelen zijn afgezet; moderbollen; huidjes om de korrels overwegend bestaande uit organisch materiaal; bolvormige deeltjes (sclerotia) met herkenbare celstruktuur. In bijna alle humeuze lagen en horizonten komen alle genoemde humuskomponenten voor, zij het in onderling verschillende getalsverhoudingen. De interpretatie aangaande de wijze van vorming van de humeuze lagen en horizonten is daarom gebaseerd op de vorm- en grootteverdeling en de rangschikking van de humuskomponenten tussen de skeletkorrels. Vooral een laagsgewijze koncentratie van humusballen, grote opake humusbrokjes en bolvormige deeltjes wijst op verstuiving van humeus materiaal.

Door palynologisch onderzoek van overstoven veenlagen en bodems is voor een aantal lokaties het aanvangstijdstip van de stuifzandakkumulatie bepaald. Op grond van de bestaande literatuur, het pollenbeeld van de vervaardigde pollendiagrammen en de absolute dateringen is een voor de Veluwe geldende indeling in zones en subzones voor het Subatlanticum opgesteld (pag. 118). In de pollendiagrammen is deze (sub)-zonering aangegeven. Het meest volledig onderzochte en gedateerde profiel is dat van het ten dele door stuifzand overdekte Kootwijkse Veen. Gekonkludeerd is, dat het merendeel van de Veluwse stuifzanden door menselijke aktiviteiten ontstaan is in de tijd na 1150 à 1250 na Chr. Dit valt samen met de vorming van de Jonge Duin Afzettingen langs de kust. Op enkele plaatsen zijn aanwijzingen gevonden voor het lokaal optreden van zandverstuivingen in de Vroege Middeleeuwen. In de tijd tussen 100 à 250 na Chr. - 1150 à 1250 na Chr. is op diverse plaatsen veenvorming opgetreden in afvoerloze laagten in dekzand. Tegen het einde van de veengroei en kort voor de aanvang van de overstuiving wordt in de pollendiagrammen een sterke toename van de Ericaceae aangetroffen, samengaande met een afname van bijna alle boompollen en een gelijktijdige of kort hierna optredende toename van Gramineae en vele indikatoren van landbouwaktiviteiten. Niet alleen op de Veluwe, maar ook in andere delen van Nederland en in de aangrenzende delen van België en Duitsland, hebben de zandverstuivingen zich vermoedelijk sterk uitgebreid in de Late Middeleeuwen.

Geomorfologische studiekarteringen zijn verricht van Noord- en Midden-Veluwse stuifzandgebieden. Gekozen is voor het aangeven van door reliëf en vorm bepaalde vormtypen. Daarnaast is de aard van het materiaal bepalend. Hieronder wordt in dit verband verstaan de opeenvolging van de sedimenten en de aan- of afwezigheid van bodemprofielen aan de oppervlakte en van overstoven bodemprofielen. De door reliëfinversie gevormde plateaurestduinen, die het gevolg zijn van verstuiving van een oorspronkelijk zwak golvend dekzandreliëf, worden in hun meest typerende vorm aangetroffen in het Leuvenumse Bos. De uitwendige vorm en de inwendige opbouw van dit type stuifzandheuvel is in detail onderzocht. Tevens zijn de door het vastlopen van stuifzand in vegetatieranden gevormde, in dwarsdoorsnede asymmetrische, veelal hoge randwalduinen bestudeerd. Min of meer analoge vormen van kleiner formaat zijn de aan de randen van akkers gelegen hout- of wildwalduinen en stuifdijken. In het oostelijke deel van het Nationale Park

'De Hoge Veluwe' is een uitzonderlijk weinig geaccidenteerd stuifzandgebied gekarteerd, dat ontstaan is door een gelijkmatige instuiving van zand in een langdurig met heide of andere lage vegetatie begroeid gebied met hoge (schijn)-grondwaterstanden. Aan de oppervlakte komt alhier een voor stuifzand relatief sterk ontwikkelde humuspodsol voor, hetgeen in overeenstemming is met de gevonden hogere ouderdom.

In tabel 11.2 is aangegeven hoe de stuifzand- en dekzandvormen en de landduinen qua materiaaleigenschappen en morfometrische kenmerken verschillen. In deze tabel wordt, naar analogie van de indeling in Jonge en Oude Duin Afzettingen langs de kust, voorgesteld de zandige windafzettingen, die lithostratigrafisch behoren tot de Formatie van Kootwijk, onder te verdelen in Jonge en Oude stuifzanden.

Op grond van de materiaaleigenschappen in samenhang met de geomorfologie is gekonkludeerd, dat de stuifzanden vooral bestaan uit lokaal verstoven dekzanden en dat er geen sprake is van lange transportwegen in bepaalde richtingen, die zich uiten in verschillen in korrelgrootte, -vorm of -samenstelling. De dekzanden op hun beurt, die afhankelijk van de lokale omstandigheden vastgelegd zijn in het Laat--Glaciaal of in het Vroeg-Holoceen, zijn zowel afkomstig uit door sneeuwsmeltwater verplaatste afzettingen als uit de zandige, gestuwde en fluvio-glaciale pakketten.

Teneinde een recent overzicht te kunnen geven van de verbreiding van de lokaties waar stuifzandvormen en landduinen voorkomen, is een overzichtskaart vervaardigd van een deel van West- en Midden-Europa. In het in kaart gebrachte gebied wordt het totale areaal aan stuifzand- en landduingebieden geschat op 8500 - 13000 km^2. Ten slotte wordt de literatuur over stuifzanden en landduinen samengevat voor de Noord-, West- en Midden-Europese landen.

SUMMARY

INTRODUCTION This study presents an investigation of the morphogenesis, sediment properties and age of the drift sands of the Veluwe; the region within which the drift sands of The Netherlands have their greatest extent.

TERMINOLOGY AND DUNE-RELIEF The eolian sand deposits in The Netherlands are divided mainly on the basis of sediment properties, but to some extent also on geomorphology, as follows: a. Drift sands are eolian sand deposits, originating by redeposition of terrestrial, Pleistocene deposits, which rest on a clearly developed soil profile and also the eolian sand deposits which do not rest on a clearly developed soil profile, but which are characterized by a mainly light yellow-grayish colour, a loose grain-packing and the presence of thin layers rich in humus. The drift sands, which have been deposited during the Holocene, usually show a dune-relief and belong to the Kootwijk Formation. b. Cover sands are the Late Pleistocene, eolian sand deposits characterized by a clearly developed soil profile only in the uppermost part of the deposit, a less loose grain-packing than the drift sands, the absence of thin layers rich in humus, and a usually flat to undulating relief. Cover sands frequently display periglacial phenomena and belong to the Twente Formation. c. Inland dune deposits have the same sediment properties as the cover sands, but are characterized by a dune-relief and are ascribed to the Twente Formation. d. Coastal dune deposits, are related to the present or former coastlines and belong to the Westland Formation. e. River dune deposits, which are related to present or former river courses, and which in sediment properties closely resemble the fluviatile source sediments, are ascribed to the Kreftenheye Formation.

The drift sand relief is usually characterized by a chaotic pattern of erosional and accumulation forms which strongly vary in outline and size. Characteristic are the large height differences over short distances, steep slopes and the occurrence of large numbers of hills and ridges, which do not fit into any of the existing duneform classifications. On the basis of the mainly erosional or accumulational character, the presence or absence of buried soil profiles, indicating the original surface prior to the sand drifting, and the form development, the drift sand areas are divided into 'blown-out', 'blown-over', 'blown-up', 'blown-under' and 'blown-through' parts (fig. 2.2).

DISTRIBUTION AND RESEARCH OF DRIFT SANDS IN THE NETHERLANDS Drift sands occupy an area of app. 800 km^2 in The Netherlands (fig. 3.1); 230 km^2 of this area is found on the Veluwe. At present only less than 5% of the drift sands of the Veluwe are still active, i.e. not stabilized by vegetation (app.2). For each province all the drift sand localities are mentioned on the basis of the topographical maps, scale 1 : 25.000, whereas the distribution of the drift sand areas on the Veluwe is discussed in relation to the contour lines and the nature of the original relief. The following aspects of drift sand research are reviewed: genesis, soil development, vegetation and microclimate, and age.

Since the beginning of the Neolithic, local sand drifting has occurred, due to the clearance of vegetation by man on those parts of the Veluwe where wind erosion-sensitive, well-sorted, sandy deposits were present at the surface and where the water table was deep. This proces continued in the course of time, with increasingly serious consequences so that since the Late Middle Ages extensive spreading of sand drifts has occurred. Since the end of the last century the majority of the drift sands have been reclaimed by afforestation with pine.

The drift sands are usually mapped, according to differences in soil profile over short distances, as associations of 'Duin' xerovague soils with 'Vlak' hydrovague soils or 'Vorst' xerovague soils or 'Haar' xeropodzol soils. At the edges of drift sand areas 'Holt' moderpodzol, 'Moer' peaty hydropodzol or 'Haar' xeropodzol soils with a sand cover and 'Kamp' xeropodzol soils are found.

In the few remaining active drift sand areas a very characteristic vegetation exists, which has developed by adaptation to the extreme conditions. These are determined by the exceptional microclimate, the mineralogical poverty and the low moisture content of the material and the influence of drifting sand.

Figure 3.6 summarises the literature on the supposed age of Holocene sandy wind deposits in The Netherlands. The datings are acquired mainly by interpretation of palynological data.

ORIENTATION By measurements of the azimuth of the longest axes of oblong drift sand forms, which are indicated on topographical maps, scale 1 : 10.000, and by indicating these in polar coordinates the dominant orientation directions have been determined. The same has been done for drift sand areas on the Veluwe and in the whole country. The individual drift sand forms, as well as the drift sand areas, appear to have a dominant orientation direction of N 65°/245° E (fig.4.3). If the supposition is correct, that the majority of the orientated drift sand forms has been deposited parallel to the

dominant wind direction, then a close connection must exist between the dominant orientation and wind, in a given case, sand transport directions. To verify this, polar coordinates have been drawn showing frequency distributions of the wind direction for the following velocity-intervals: 0,5 m/sec, 5-10 m/sec and > 10 m/sec (period 1961-1970) and 0-7,5 m/sec and > 7,5 m/sec (period 1951-1960). Comparison of the thus established dominant orientation and wind directions reveal an almost total coincidence, especially for wind-speeds of > 7,5 m/sec and > 10 m/sec (fig.4.8) by which the main part of sandtransportation takes place. The orientation measurements of the drift sands have also been compared with those for cover sand forms, and coastal and inland dunes in The Netherlands.

GRAINSIZE Drift sands are usually more or less horizontally stratified, finely laminated sand deposits (fig.5.1). Each lamina has a specific grainsize distribution, depending on wind velocities during deposition. It is thought therefore that the grainsize distribution of mixed samples are in fact the combined grainsize frequency distributions of the component laminae. The grainsize distribution of some hundreds of drift and cover sand samples has been determined by wet seiving of the fractions between 50 and 2000 microns. Percentile values were acquired from the cumulative curves and graphical parameters concerning sorting, skewness and kurtosis have been calculated. The said analytical data have been grouped on the basis of field-criteria and consequently statistical tests enable the conformaties and differences which exist between the various sample groups to be established, according to the regional distribution, the height of deposition and the kind of material (table 5.1). To illustrate this, scatter diagrams have been drawn, in which especially non to weakly-correlated variables have been plotted (fig. 5.6, 5.7 and 5.8).

The drift sands mainly consist of loam-poor to slightly loamy, very fine to moderately fine sand, whereas in exceptional cases slightly or very loamy, very fine of extremely fine sand and loam-poor, moderately coarse sand occurs. Notably the drift sands of the eastern and southern Veluwe on the ice-pushed ridge are less well-sorted and coarser than the remaining drift sands. Sands from the basis of the stoss-side, on the top and from the lee-side of high drift sand ridges reveal slight but significant mutual differences in grainsize distribution. Although the drift sands of the Veluwe, compared to the related cover sands, turned out to be in general somewhat better-sorted and often have a lower positive skewness and lower kurtosis, it is impossible to distinguish the drift and cover sands purely on the grounds of their grainsize distribution.

GRAIN-COMPOSITION In addition to grainsize the mineralogical composition has been studied to distinguish and clarify possibly existing differences between various drift sand areas and between drift and cover sands as a result of either the distance of transportation or the resedimentation of source materials which originally varied in composition. In percentages of coloured grains the sands appear to be very uniform. Weight percentages of heavy minerals of the fractions in between 50-500 microns have been examined in relation to the grainsize distribution, the soil development and the regional distribution of the materials.

The drift and cover sands contain more or less equal weight percentages of heavy minerals and are also closely matched in mineralogical composition. The existing mutual differences in the various drift sand areas are ascribed to existing differences in source materials, which have been preserved during local resedimentation (fig. 6.3 and 6.4).

GRAIN – ROUNDNESS AND –SURFACE TEXTURES During eolian sandtransportation selection can occur according to grainform as well as to grainsize or weight. At the same time mechanical rounding of grains can take place. The roundness-index for several fractions of drift and cover sand quartz grains has been determined. It appears that the degree of roundness increases gradually with increasing grainsize (fig. 7.2). For further comparative studies the roundness-index of the modal fraction (150-210 microns) of a larger number of samples was determined. The drift sands were found also to be very uniform in terms of their degree of roundness. It is a remarkable fact though that some of the drift sand areas situated on the ice-pushed ridge of the eastern Veluwe and near the ice-pushed ridges of Ede and Oud-Reemst have on the average a higher roundness-index than the large chains of drift sand areas on the central and northern Veluwe.

As for the surface-textures, the relationship between the degree of roundness of drift sand quartz grains and the degree of frosting is discussed. The degree of frosting in its turn also determines the degree of transparency of the grains. Some properties of grainform, -roundness and -surface-textures are illustrated by scanning electron micrographs (fig. 7.8, 7.9 and 7.10).

PENETRATION RESISTANCE PROFILES IN DRIFT AND COVER SAND The distinction be-

tween drift sands and cover sands with a similar texture, structure and composition is sometimes difficult to make in the absence of soil development. One of the field-criteria which can be used in such cases is the grain-packing of the material. To quantify this, penetration resistance profiles were measured up to a depth of 1.20 m in drift sands. The pore-volume in drift sands remains about the same with increasing depth, what is clearly expressed in the almost constant values of the penetration resistance in the drift sand profiles (fig. 8.4). In cover sands, however, a rapidly decreasing pore volume is found and consequently the penetration resistance increases rapidly with increasing depth (fig. 8.4).

CHARACTER AND DISTRIBUTION OF ORGANIC MATTER In spite of the fact that drift sands usually are extremely to very poor in humus (< 1.5% organic matter), one of the field-characteristics of drift sands is the occurrence of thin humose layers, as these are absent in cover sands. Micromorphological interpretation of thin sections enables the distinction between humose layers, which are the result of eolian transportation of (allochtonous) organic matter or are the remains of blown-over vegetation-, fossilized A0-, A1- or micropodzol-horizons. In some profiles for each horizon or layer, the different types of skeleton grains, voids and organic materials have been determined in volume percentages (table 9.1).

The following organic components have been distinguished: non or weakly-humified plant remains sometimes containing tissue fragments; humus fragments mainly consisting of strongly-humified, opaque plant remains and or amorphous organic matter; 'humus balls' which have been deposited simultaneously with the mineral particles; 'moder spheres'; grain cutans mainly consisting of organic matter; and sphere-like particles (fungal resting bodies) with visible cellular structure (fig. 9.4 and 9.5). In almost all humose layers and horizons, all of the organic components occur, be it in mutually different number. The interpretation concerning the origin of the humose layers and horizons is based, therefore, on the form and size-distribution and on the arrangement of the organic components within the lithiskel. Especially a stratified occurrence of 'humus balls', large opaque humus fragments and sphere-like particles, is indicative for an eolian transportation of the organic matter.

AGE AND VEGETATION The starting-point of drift sand accumulation has been determined by palynological investigations of blown-over peat layers and soils at several localities. Based on the existing literature, the pollen diagrams in this study and the absolute datings, a (sub)division (that applies to the Veluwe) in zones and subzones has been formed for the Subatlantic (page 118). This (sub)division is indicated in the pollen diagrams. The profile from the Kootwijkse Veen, where a *Sphagnum*-bog is partly covered by drift sand, is the most thoroughly studied and dated, and has been used as a reference-diagram (fig. 10.2). It is concluded, that the majority of the drift sands of the Veluwe originated after 1150 to 1250 A.D., due to human activities. This is synchronous with the formation of the Younger coastal dunes sands in The Netherlands. At some places indications were found which point to local sand drifting in the Early Middle Ages. The period between 100 to 250 A.D. and 1150 to 1250 A.D. is characterized by peat formation in cover sand depressions. Near the end of the peat formation and shortly before the beginning of sand drifting, the pollen diagrams show a marked increase in Ericaceae, accompanied by a decrease in almost all tree-pollen and a simultaneously or shortly later occurring increase in Gramineae and many indicators of cultivation. Not only on the Veluwe, but also in other parts of The Netherlands and in the adjoining areas of Belgium and Germany, sand drifts probably expanded rapidly in the Late Middle Ages.

GEOMORPHOLOGY Geomorphological mapping was carried out in sample-areas in the northern and central Veluwe (app. 1). The mapping-units are determined by 'form-types' in connection with the vertical succession of sediments and the absence or presence of soils at the surface or in buried (blown-over) positions. The most typical examples of 'plateau-dunes' which are the result of the inversion of an originally gently undulating cover sand relief by eolian processes, are found on the northern Veluwe (fig. 11.3 and app. 9). The external form and the inner structure of this type of drift sand mound has been investigated in detail. Another 'form-type' which has been studied are the so-called 'bordering dune ridges'. These ridges can be up to 20 metres high, have an asymmetrical cross-profile and have been formed by drift sand accumulation at the edges of forests (fig. 11.7). More or less similar forms of smaller measure are the so-called 'brushwood sand ridges' and artificial 'dike sand ridges' on the edges of arable fields. In the eastern part of the National Park 'The High Veluwe' a drift sand area of exceptionally little relief has been mapped. The morphogenesis of this area is explained by a gradual sedimentation of sand in an area with a high perched watertable and covered by heather or

grass. At the surface, a relatively thick humus-podzol-profile has developed here, which is in agreement with the established higher age of drift sand accumulation than usually found elsewhere.

The differences in sediment- and morphometrical characteristics between drift sand forms, cover sand forms and inland dunes are indicated in table 11.2. Analogous to the division into Younger and Older coastal dune deposits in The Netherlands, a similar division into Younger and Older drift sands, belonging to the lithostratigraphic Kootwijk Formation, is proposed.

Sediment properties and geomorphology justify the conclusion that the drift sands consist for the greater part of locally redeposited cover sands. There is no question of long transportation distances in preferred directions, which are reflected in differences in grainsize, -form or composition. The cover sands in there turn are derived from redeposited snowmelt water deposits as well as from the sandy parts of ice-pushed and fluvio-glacial deposits. The cover sands became stabilized in the last part of the Late Glacial or in the Early Holocene, depending on local conditions.

DISTRIBUTION AND CHARACTER OF DRIFT SANDS AND INLAND (AND RIVER) DUNES IN NOTHERN, WESTERN AND CENTRAL EUROPE As a recent summary of the distribution of the localities, where drift sand forms and inland dunes occur, an outline map has been produced for a part of western and central Europe (fig. 12.1). It is estimated that a total area or 8.500 to 13.000 km^2 of drift sand and inland dune occurrences are indicated on this map. Finally the literature concerning these eolian forms and sandy deposits is summarized for north-, west- and central European countries.

LITERATUUR

Aa, A.J. van der, 1847. Aardrijkskundig woordenboek der Nederlanden. Tiende deel.
Aaby, B., 1976. Cyclic climatic variations in climate over the past 5,500 yr. reflected in raised bogs. Nature 263, 281-284.
Aaby, B. and H. Tauber, 1975. Rates of peat formation in relation to degree of humification and local environment, as shown by studies of a raised bog in Denmark. Boreas 4, 1-17.
Akker, A.M. van den en H.J.M. Zegers, 1968. Draagkracht van de bovenlaag in het ruilverkavelingsgebied Oldelamer. Boor en Spade 16, 189-201.
Alimen, M.H., 1967. The Quaternary of France. In: K. Rankama (ed.). The Quaternary, Vol. 2, 89-238.
Allier, C., 1966. Formation et évolution d'une dune continentale en fôret de Fontainebleau. Rev. de Géomorph. dynam. 16, 101-113.
Anonymus, 1962. Proceedings of the conference on the climate of the eleventh and sixteenth centuries. NCAR Technical Notes 63/1.
Arens, H., 1964. Zur Altersdatierung der Flugsande am Westrand des Münsterschen Kreidebeckens. Decheniana 117, 133-140.
Babel, H., 1975. Micromorphology of soil organic matter. In: J.E. Gieseking (ed.), Soil components, Vol. 1, 367-474.
Bagnold, R.A., 1954. The physics of blown sand and desert dunes. London.
Bahnson, H., 1973. Spor af muldflugt i keltisk jernalder påvisk i højmoseprofiler. Danmarks Geol. Undersøgelse, Årbog 1972, 7-12.
Bakker, H. de en A.W. Edelman-Vlam, 1976. De Nederlandse bodem in kleur. Wageningen.
Bakker, H. de en J. Schelling, 1966. Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus. Wageningen.
Bal, L., 1968. Funktie van de bodemfauna in de genese van twee moder-humusprofielen. Boor en Spade 17, 79-109.
Bal, L., 1973. Micromorphological analysis of soils. Diss. Utrecht.
Bergthorsson, P., 1969. An estimate of drift ice and temperature in Iceland in 1000 years. Jökull 19, 94-101.
Bigarella, J.J., Alessi, A.H., Becker, R.D. and G.M. Duarte, 1969. Textural characteristics of the coastal dune, sand ridge and beach sediments. Boletim Paranaense de Geociências, Brasil, 27, 15-80.
Bigarella, J.J., Duarte, G.M. and R.D. Becker, 1970/71. Structural characteristics of the dune, foredune, beach, beach-dune ridge and sand ridge deposits. Boletim Paranaense de Geociências, Brasil, 28/29, 9-72.
Bisschops, J.H., 1973. Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Eindhoven Oost (51 O). Haarlem.
Blaschke, R., 1967. Indirekte Volumen-, Oberflächen-, Grössen- und Formfaktorbestimmungen mittels Zählfiguren in Schnittebenen mit dem Leitzzählokular. Leitz Mitteilungen 4, 44-49.
Borsy, Z., 1965. The wind-blown sand regions of Hungary. Acta Geol. Hungarica 9, 85-94.
Borzy, Z., 1968. The surface of the region between the Danube and the Tisza. Acta Geogr. Debrecina 14, 45-57.
Borsy, Z., 1971. Studies on wind erosion in the wind-blown sand areas of Hungary. Acta Geogr. Debrecina 10, 123-132.
Brandt-Boomstra, J.E. en B.J. Meyman, 1970. Onderzoek naar de verandering van het stuifzandareaal op de Veluwe. Intern rapport Fys. Geogr. en Bodemk. Lab. Univ. van Amsterdam.
Brandt-Boomstra, J.E. en B.J. Meyman, 1971. Een onderzoek naar de bestrijding van de zanden op de Veluwe ten tijde van de republiek. "Een historische poging tot milieubeheer". Intern rapport Fys. Geogr. en Bodemk. Lab. Univ. van Amsterdam.
Brewer, R., 1964. Fabric and mineral analysis of soils. New York.
Brewer, R., 1974. Some considerations concerning micromorphological terminology. In: G.K. Rutherford (ed.), Soil microscopy. Ontario, Canada, 28-48.
Brongers, J.A., 1976. Air photography and Celtic field research in The Netherlands. Nederlandse Oudheden 6, R.O.B. Amersfoort.
Brooks, C.E.P., 1950. Climate through the ages. London.
Brouwer, A., 1947. Pollenanalytisch onderzoek van overstoven Drentse veentjes. Tijds. Kon. Ned. Aard. Gen. 64, 1-12.
Buckland, P.C. (in press). The cover sands of North Lincolnshire and the Vale of York: age, palaeoenvironment and relation to archeological industries.
Buitenhuis, A., 1964. De bodemgesteldheid van de boswachterij "Garderen". Rapport Stichting voor Bodemkartering 622.
Buller, A.T. and J. McManus, 1972. Simple metric sedimentary statistics used to recognize different environments. Sedimentology 18, 1-21.
Cailleux, A., 1942. Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. Thèse Sc. Paris.
Cailleux, A. et H. Schneider, 1968. L'usure des sables vue en microscope électronique à balayage. Science Progrès, La Nature 3395, 92-94.
Catt, J.A., 1977. Guidebook for Excursion C7, Yorkshire and Lincolnshire, X INQUA congress.
Catt, J.A., Weir, A.H. and P.A. Madgett, 1974. The loess of eastern Yorkshire and Lincolnshire. Proc. Yorkshire Geol. Soc. 40,2, 23-39.
Cleef, A.M., Kers, J. en J.T. de Smidt, 1970. De Berger- en Gemeenteheide. Keuze tussen poel van bederf of hoeksteen voor nationaal park Maasduinen. Natuurh. Maandbl. 59, 3-22.
Coninck, F. de, 1957. Formation de sols profondement humifères, en Campine Anversoise. Pédologie 7, 102-106.

Coninck, F. de and J. Laruelle, 1964. Soil development in sandy materials of the Belgian Campine. In: A. Jongerius (ed.), Soil micromorphology. Amsterdam, 169-188.
Coninck, F. de, Righi, D., Maucorps, J. and A.M. Robin, 1974. Origin and micromorphological nomenclature of organic matter in sandy spodosols. In: G.K. Rutherford (ed.), Soil microscopy. Ontario, Canada, 263-280.
Cooke, R.U. and A. Warren, 1973. Geomorphology in deserts. London.
Crommelin, R.D., 1964. A contribution to the sedimentary petrology and provenance of Young Pleistocene coversand in The Netherlands. Geol. en Mijnb. 43, 389-402.
Crommelin, R.D., 1965. Sediment-petrologie en herkomst van Jong-Pleistoceen dekzand in Nederland. Boor en Spade 14, 138-150.
Crommelin, R.D. en G. Slotboom, 1945. Een voorkomen van granaatzandlagen op het strand van Goeree. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 62, 142-147.
Dam, J.G.C. van en J.A. Hulshof, 1967. De penetrometer als instrument voor het onderzoek naar de geschiktheid van de grond voor de aspergeteelt. Med. van de Dir. Tuinb. 30, 186-190.
Daniëls, A.G.H., 1964. A contribution to the investigation of the Holocene history of the beech in the Eastern Netherlands. Acta Bot. Neerl. 13, 66-75.
Dansgaard, W., Johnson, S.J., Møller, J. and C.C. Langway, 1969. One thousand centuries of climatic record from Camp Century on the Greenland ice sheet. Science 166, 377.
Dansgaard, W., Jonhson, S.J., Clausen, H.B. and C.C. Langway, 1971. Climatic record revealed by the Camp Century ice core. In: K.T. Turekian (ed.), The Late Cenozoic glacial ages. New Haven, 37-56.
David, P.P., 1977. Sand dune occurrences of Canada. A theme and resource inventory study of eolian landforms of Canada. Report Indian and Northern Affairs, National Parks Branch, Canada.
Davidson, D.T., 1965. Penetrometer measurements. In: C.A. Black (ed.), Methods of soil analysis 1, 472-482. Number 9 in the series Agronomy, Wisconsin, U.S.A.
Denton, G.H. and W. Karlén, 1973. Holocene climatic variations - Their pattern and possible cause. Quaternary Res. 3, 155-205.
Depuydt. F., 1967. Bijdrage tot de geomorfologische en fytogeografische studie van het domaniaal natuurreservaat De Westhoek. Ministerie van Landbouw, Bestuur Waters en Bossen, Dienst Domaniale Natuurreservaten en Natuurbescherming. Werken 3.
Depuydt, F., 1972. De Belgische strand- en duinformaties in het kader van de geomorfologie der zuidoostelijke Noordzeekust. Verh. Kon. Acad. voor Wetensch. van België 34, nr. 122, Brussel.
Dieren, J.W. van, 1934. Organogene Dünenbildung. Eine geomorphologische Analyse der Dünenlandschaft der West-Friesischen Insel Terschelling mit pflanzensoziologischen Methoden. Den Haag.
Dimbleby, G.W., 1961. Soil pollen analysis. Journ. of Soil Science 12, 1-11.
Doeglas, D.J., 1952. Afzettingsgesteenten. Den Haag.
Doeglas, D.J., 1967. Korrelgrootteverdeling van sedimenten. Intern rapport, Wageningen.
Doeglas, D.J., 1968. Grain-size indices, classification and environment. Sedimentology 10, 83-100.
Doeglas, D.J., 1971. Q_1MD Q_3 indices showing grain-size distribution on maps. Geol. en Mijnb. 50, 367-372.
Donker, N.H.W., 1970. A note concerning a staining method for feldspars. In: From field to laboratory. Fys. Geogr. en Bodemk. Lab. Univ. van Amsterdam, Publ. 16, 21-22.
Dricot, E.M., 1961. Analyse pollinique d'un profil de sable à Averbode (Campine belge). Agriculture 9, 651-655.
Drift, J. van der, 1964. Soil fauna and soil profile in some inland-dune habitats. In: A. Jongerius (ed.), Soil micromorphology. Amsterdam, 69-81.
Dücker, A. und G.C. Maarleveld, 1957. Hoch- und spätglaziale Sande in Nordwestdeutschland und in den Niederländen. Geol. Jahrb. 73, 215-234.
Dylikowa, A., 1958. Proba wyroznienia faz rozwoju wydm w okolicy Lodzi (Rés. Phases du dévelopment des dunes aux environs de Lodz). Acta Geogr. Univ. Lodz 8, 233-268.
Dylikowa, A., 1964. Les dunes de la Pologne Centrale et leur importance pour la stratigraphie du Pleistocène Tardif. Report VIth Intern. Congr. on Quaternary, Warsaw 1961, 4, 67-80.
Edelman, C.H. und G.C. Maarleveld, 1958. Pleistozän-geologische Ergebnisse der Bodenkartierung in den Niederländen. Geol. Jahrb. 73, 639-684.
Eisma, D., 1965. Eolian sorting and roundness of beach and dune sands. Neth. Journ. Sea Res. 2, 541-555.
Eisma, D., 1968. Composition, origin and distribution of Dutch coastal sands between Hoek van Holland and the island of Vlieland. Neth. Journ. Sea Res. 4, 123-267.
Ellenberg, H., 1963. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Einführung in die Phytologie 4, 2. Stuttgart.
Emden, A.E. van en L.E. Verwey, 1968. Het Kootwijkerzand. Vegetatiekundig onderzoek. Scriptie Inst. Syst. Plantkunde Utrecht.
Engelhardt, E. von, 1960. Der Poriënraum der Sedimente. Mineralogie und Petrographie in Einzeldarstellungen. Berlin.
Erbe, J., 1958. Spätglaziale Ablagerungen im Emsland und seinen Nachbargebieten. Geol. Jahrb. 76, 103-128.
Eswaran, H., Coninck, F. de and M.J. Conry, 1972. A comparative micromorphological study of light and medium textured podzols. In: S. Kowalinsky et al. (ed.), Soil micromorphology. Warszawa, 269-286.
Faegri, K. and J. Iversen, 1966. Textbook of pollenanalysis. Copenhagen.
Feenstra, E.J., 1975. Een papiermolen op de Hierdense Beek. Westerheem 24, 59-68.

Fink, J., Grill, R. und H. Küpper (red.), 1955. Beiträge zur Pleistozänforschung in Osterreich. Verh. der Geol. Bundesanst. D, Wien.
Firbas, F., 1949. Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen, I. Jena.
Folk, R.L., 1966. A review of grain-size parameters. Sedimentology 6, 73-93.
Folk, R.L., 1971. Longitudinal dunes of the northwestern edge of the Simpson Desert, Northern Territory, Australia. I. Geomorphology and grain-size relationships. Sedimentology 16, 5-54.
Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazos River Bar: A study in the significance of grain-size parameters. Journ. of Sed. Petr. 27, 3-26.
Friedman, G.M., 1961. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. Journ. of Sed. Petr. 31, 514-529.
Friedman, G.M., 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. Journ. of Sed. Petr. 37, 327-354.
Galon, R., 1959. New investigations of inland dunes in Poland. Przegl. Geogr. 31, 62-110.
Galon, R. (ed.), 1969. Procesy I Formy Wydmove W. Polsce (Summ. Dune processes and forms in Poland). Instytut Geografii, PAN, Prace Geogr. 75. Warszawa.
Gans, W. de, 1974. Een stuifzandfort in Drente. Tijds. voor Econ. en Soc. Geogr. 65, 124-128.
Geel, B. van, 1972. Palynology of a section from the raised peat bog "Wietmarscher Moor", with a special reference to Fungal remains. Acta Bot. Neerl. 21, 261-284.
Geel, B. van, 1976. A paleo-ecological study of Holocene peat bog sections, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. Diss. Amsterdam.
Geiger, R., 1961. Das Klima der bodennahen Luftschicht. Ein Lehrbuch der Mikroklimatologie. Die Wissenschaft, B. 78.
Gerhardt, P., 1900. Handbuch des deutschen Dünenbaues. Berlin.
Geyh, M.H., Benzler, J.H. and G. Roeschmann, 1971. Problems of dating Pleistocene and Holocene soils by radiometric methods. In: D.M. Yaalon (ed.), Paleopedology, Origin, nature and dating of paleosols, 63-75.
Glennie, K.W., 1970. Desert sedimentary environments. Developments in sedimentology 14, Amsterdam.
Godwin, H., 1967. Pollen-analytic evidence for the cultivation of Cannabis in England. Rev. Palaeobotan. Palyn. 4, 71-80.
Gottschalk, M.K.E., 1971, 1975. Stormvloeden en rivieroverstromingen in Nederland, I. De periode voor 1400, 581 pp., II. De periode 1400-1600. Assen.
Grill, R., 1968. Erläuterungen zur Geologischen Karte des nordöstlichen Weinviertels und zu Blatt Gänserdorf. Geol. Bundesanst., Wien.
Gripp, K., 1967. Flugsand, Dünen, Vorgeschichte. In: Frühe Menschheit und Umwelt, Teil II. Hrsh. von Gripp, K., Schüttrumpf und H. Schwabedissen, Köln, 228-243.
Gudelis, V. und R. Vaitoniené, 1974. Zur frage der morphologischen Klassifikation und Typologie der Inlanddünen Litauens. Geografinis Metrastis 13, Lietuvos TSR Mokslu Akad. Geogr. Skyrius, 159-168.
Gudelis, V. and R. Vaitoniené, 1976. Morphological and genetic-morphodynamical (evolutional) classifications of the ancient inland dunes in the humid zone (Lithuania). Studia Soc. Scient. Torunensis 8/c, 4-6, 75-83.
Guillet, B., 1970,1971. Etude palynologique des podzols I, II, III. Pollen et Spores 12/1, 45-69; 13/2, 233-254; 13/3, 421-446.
Guinaudeau, J., 1974. Fixation des dunes de Gasçogne en France. Int. Journ. Biometeor, 18, 133-136.
Gullentops, F., 1957. Quelques phénomènes géomorphologiques depuis le Pléni-Würm. Bull. Soc. Belg. de Géol. 66, 86-95.
Haan, F.A.M. de, 1970. Bodemverdichting. Hfdst. 8. Bodem en Bemesting, deel 3. Cursus Bodemkunde, Min. voor Landbouw en Visserij, 789-807.
Haans, G.C.F.M. en P. van der Sluys, 1970. Water- en luchthuishouding van de grond. Hfdst. 4. Bodem en Bemesting, deel 1. Cursus Bodemkunde, Min. voor Landbouw en Visserij, 105-172.
Hagedorn, J., 1964. Geomorphologie des Uelzener Beckens. Göttinger Geogr. Abhandl. 31.
Hammen, T. van der, 1971. The Upper Quaternary stratigraphy of the Dinkel Valley (with an annotated list of radiocarbon dates). In: T. van der Hammen and T.A. Wijmstra (eds.), The Upper Quaternary of the Dinkel Valley. Med. Rijks Geol. Dienst, N.S. 22, 59-72.
Hammen, T. van der and J.A. Bakker, 1971. Former vegetation, landscape and man in the Dinkel Valley. In: T. van der Hammen and T.A. Wijmans (eds.), The Upper Quaternary of the Dinkel Valley. Med. Rijks Geol. Dienst, N.S. 22, 147-158.
Hammen, T. van der, Maarleveld, G.C., Vogel, J.C. and W.H. Zagwijn, 1967. Stratigraphy, climatic succession and radiocarbon dating of the Last Glacial in The Netherlands. Geol. en Mijnb. 46, 79-95.
Hamming, C., Knibbe, M. en G.C. Maarleveld, 1965. Afzettingen van de IJssel, nabij Zwolle. Boor en Spade 14, 88-103.
Hansen, V., 1959. Sandflugten i Thy og dens indflydelse pa kulturlandskabet (Summ. The movement of sand in Thy and its human consequences). Geogr. Tidssk. 56, 69-92.
Hansen, S., 1965. The Quaternary of Denmark. In: K. Rankama (ed.), The Quaternary, Vol. 1, 1-90.
Harten, D. van, 1972. Heavy minerals in Maastrichtian and early Tertiary sediments from the Maastrichtian type-region. Diss. Amsterdam.
Havinga, A.J., 1962. Een palynologisch onderzoek van in dekzand ontwikkelde bodemprofielen. Diss. Wageningen.
Havinga, A.J., 1964a. A palynological investigation of a blown-up sandy soil with a culture layer from the Iron Age. Med. Geol. Sticht., N.S. 16, 37-38.

Havinga, A.J., 1964b. Investigation into the differential corrosion susceptibility of pollen and spores. Pollen et spores 6, 621-635.
Havinga, A.J., 1967. Palynology and pollen preservation. Rev. Palaeobotan. Palynol. 2, 81-98.
Havinga, A.J., 1968. Some remarks on the interpretation of a pollen diagram of a podsol profile. Acta Bot. Neerl. 17, 1-4.
Havinga, A.J., 1974. Problems in the interpretation of pollen diagrams of mineral soils. Geol. en Mijnb. 53, 449-453.
Heidinga, H.A., 1973. Een Middeleeuws dorp, de geboorte van een woestijn. Kort verslag van de opgravingen in het Kootwijkerzand, 1971-1972. Barneveld.
Heidinga, H.A., 1976. Verdwenen dorpen in het Kootwijkerzand. Schaffelaarreeks 3. Barneveld.
Heim, J., 1966. Analyse pollinique d'un podsol à Hergenrath (Province de Liège). Bull. Ass. Franc. Etude Quat. 3, 208-216.
Hesemann, J., 1975. Geologie Nordrhein-Westfalens. Bochumer Geogr. Arb. B.2. Paderborn.
Hesselink, E., 1920. Een en ander over de Veluwsche zandverstuivingen, in het bijzonder over die in de omgeving van Kootwijk. Tijds. Ned. Heide Mij. 32, 327-335.
Hesselink, E., 1926. Ontstaan, uitbreiding en beteugeling der zandverstuivingen. In: De zandverstuivingen bij Kootwijk. Staatsboschbeheer, Utrecht, 7-39.
Högbom, I., 1923. Ancient inland dunes of northern and middle Europe. Geogr. Ann. 5, 113-243.
Holland, S.M., 1975. Pollen analytical investigations at Crosby Warren, Lincolnshire, in the vicinity of the Iron Age and Romano-British settlement of Dragonby. Journ. of Archeol. Science 2, 353-363.
Houte de Lange, S.M. ten (red.), 1977. Rapport van het Veluwe-onderzoek. Een onderzoek van natuur, landschap en cultuurhistorie ten behoeve van de ruimtelijke ordening en het recreatiebeleid. Pudoc, Wageningen.
Houten, J. van, 1939. De oppervlakte-vormen van het Haagse duinlandschap. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 56, 1-50,
Houtzagers, G., 1956. Houtteelt der gematigde luchtstreek. Deel II, Het bos. Zwolle.
Hunter, R.E., 1977. Basic types of stratification in small eolian dunes. Sedimentology 24, 361-387.
Inman, D.L., 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. Journ. of Sed. Petr. 22, 125-145.
Iversen, J., 1949. The influence of prehistoric man on vegetation. Danm. Geol. Unders. 4/3.
Iversen, J., 1973. The development of Denmarks nature since the Last Glacial. Danm. Geol. Unders. V, 7-C, Geology of Denmark III.
Janssen, C.R., 1972. The palaeoecology of plant communities in the Dommel Valley, North Brabant, The Netherlands. Journ. of Ecol. 60, 411-437.
Janssen, C.R. and H.A. ten Hove, 1971. Some Late-Holocene pollen diagrams from the Peel raised bogs (Southern Netherlands). Rev. Palaeobotan. Palynol. 11, 7-53.
Jauhiainen, E., 1970. Über den Boden fossiler Dünen in Finnland. Fennia 100, 1-32.
Jauhiainen, E., 1972. Rate of podzolisation in a dune in Northern Finnland. Ann. Acad. Scient. Fennicae, Phys.-Math. Bd. 42, 33-44.
Jelgersma, S., Jong, J. de, Zagwijn, W.H. and J.F. van Regteren Altena, 1970. The coastal dunes of the western Netherlands; geology, vegetational history and archeology. Med. Rijks. Geol. Dienst, N.S. 21, 93-167.
Jelgersma, S. and J.F. van Regteren Altena, 1969. An outline of the geological history of the coastal dunes in the western Netherlands. Geol. en Mijnb. 48, 335-342.
Jonassen, H., 1954. Dating of sand-drift east of Ulfsborg. Botan. Tidssk. 51, 136-140.
Jong, J.D. de, 1951. Duin- en zeezand. Bijdrage tot de kennis van de granulometrische samenstelling van Nederlandse grondsoorten. Versl. Landbk. Onderz. 57.5.
Jong, J.D. de, 1957. Heavy mineral composition of the podsol profile at the top of the Pleistocene. In: Straaten, L.M.J.U. van and J.D. de Jong (ed.), The excavation at Velzen. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen. G.S. 17, 146-147.
Jong, J.D. de, 1972. Sleutelen aan het recente milieu. Rede Wageningen.
Jongerius, A., 1957. Morfologische onderzoekingen over de bodemstructuur. Diss. Wageningen.
Jongerius, A. and G. Heintzberger, 1963. The preparation of mammoth-sized thin sections. (Neth. Soil Surv. Inst.) Soil Surv. Papers 1, Wageningen, 1-37.
Jongerius, A. en B.A. Marsman, 1971. Humeuze laagjes in stuifzand. Boor en Spade 17, 7-22.
Kaiser, H., 1959. Die Strömung an Windschutzstreifen. Ber. des Deutschen Wetterdienstes 53/7.
Keilhack, K., 1917. Die grossen Dünengebiete Norddeutschlands. Zeits. Deutsche Geol. Ges. 69, 2-19.
Klemsdal, T., 1969. Eolian forms in parts of Norway. Norsk Geogr. Tidssk. 23, 49-66.
Knibbe, M., 1969. Gleygronden in het dekzandgebied van Salland. Diss. Wageningen.
Knottnerus, D.J.C., 1976. Wind erosion research by means of a wind tunnel. Measures to control wind erosion of soil and other materials for reasons of economy and health. Publ. Inst. voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (Gr.).
Koldijk, W.S., 1968. On environment-sensitive grain-size parameters, Sedimentology 10, 57-69.
Kolstrup, E., 1975. A geomorphological investigation of the western part of the IJssel Valley between Zutphen and Deventer, The Netherlands. Intern rapport Fys. Geogr. en Bodemk. Lab., Univ. van Amsterdam.
Koster, E.A., 1968. De invloed van markebossen op de vorming van zeer hoge stuifzandruggen ("randwallen") op de Veluwe. Boor en Spade 16, 66-73.
Koster, E.A., 1970a. The formation of table-shaped drift sand mounds ("forts") in the northern Veluwe, The Netherlands. In: From field to laboratory. Fys. Geogr. en Bodemk. Lab., Univ. van Amsterdam, Publ. 16, 45-52.

Koster, E.A., 1970b. Aktieve stuifzanden en Celtic fields in Midden Nederland op luchtfoto's. Geogr. Tijdschr. 4, 419-431.
Koster, E.A., in prep., A comparative investigation on the morphogenesis, sediment characteristics and age of drift sands in The Netherlands, Denmark and Western Germany.
Kozarski, S. and K. Tobolski, 1968. Holocenskie przeobrazenia wydm srodladowich w Wielkopolsce w swietle badan geomorfologicznych i palynologicznych (Summ. Holocene transformations of inland dunes in Wielkopolska in the light of geomorphological and palynological investigations). Folia Quatern. 29, 127-134.
Kozarski, S., Nowaczyk, B., Rotnicki, K. and K. Tobolski, 1970. The eolian phenomena in West-Central Poland with special reference to the chronology of phases of eolian activity. Geogr. Polonica 17. INQUA congr. Paris, 231-248.
Köster, E., 1964. Granulometrische und morphometrische Messmethoden. Stuttgart.
Krinsley, D. and L. Cavallero, 1970. Scanning electron microscope examination of periglacial eolian sands from Long Island, New York. Journ. of Sed. Petr. 40, 1345-1349.
Krinsley, D.H. and J. Donahue, 1968a. Methods to study surface textures of sand grains, a discussion. Sedimentology 10, 217-221.
Krinsley, D.H. and J. Donahue, 1968b. Environmental interpretation of sand grain surface textures by electron microscopy. Geol. Soc. of Am. Bull. 79, 743-748.
Krinsley, D.H. and J.C. Doornkamp, 1973. Atlas of quartz sand surfaces textures. Cambridge.
Krumbein, W.C. and F.J. Pettijohn, 1938. Manual of sedimentary petrology. New York.
Krygowski, B., 1964. Graniformametria mechaniczna, teoria, zastosowanic (Zuss. Die mechanische Graniformametrie, Theorie und Anwendung). Pozn. Tow. Przyj. Nauk., Prace Kom. Geogr.-Geol. 2/4.
Keunen, Ph.H., 1960. Experimental abrasion 4, Eolian action. Journ. of Geol. 68, 427-449.
Kuenen, Ph.H., 1963. Pivotability studies of sand by a shape sorter. Proc. 6th Int. Congr. Sedimentology, 207-215.
Kuenen, Ph.H., and W.G. Perdok, 1962. Experimental abrasion 5. Forsting and defrosting of quartz grains. Journ. of Geol. 70, 648-658.
Kuhlman, H., 1960. The terminology of the geo-eolian environment. In: N.K. Jacobsen (ed.), Guidebook Denmark, Intern. Geogr. Congr. London 1960, 122-140.
Kukal, Z., 1971. Geology of recent sediments. Centr. Geol. Surv., Prague.
Kummer, E.A., 1968/69. The Bulldozergraniformameter - its operation and its application. Bull. Soc. des Sciences et des Lettres de Poznan. B-XXI, 155-168.
Kummer, E.A., 1970. A description of a morphoscopical investigation method to determine the degree of roundness of samples of quartz-sand grains with diameters between 50 and 2.000 micron. In: From field to laboratory, Fys. Geogr. en Bodemk. Lab., Univ. van Amsterdam, Publ. 16, 53-66.
Labrijn, A., 1945. Het klimaat van Nederland gedurende de laatste twee en een halve eeuw. Med. en Verh. van het K.N.M.I. 49.
Lamb, H.H., 1964. Atmospheric circulation and climatic changes in Europe since 800 A.D. Report of the INQUA Congr., Warsaw 1961, Vol. II, Łødz, 291-318.
Lamb, H.H., 1965. The early medieval warm epoch and its sequel. Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeo-ecol. 1, 13-37.
Lamb, H.H., 1966. The changing climate. London.
Lamb, H.H., 1977. The late Quaternary history of the climate of the British Isles. In: F.W. Shotton (ed.), British Quaternary Studies. Recent advances. Oxford, 283-298.
Levelt, T.W.M. en J.J. Wensink, 1973. De kleimineralogische analyse van het materiaal. In: P.D. Jungerius, E.A. Koster en F.J.P.M. Kwaad (red.), Fysische Geografie, Aspecten van het landschapsonderzoek. Utrecht, 113-122.
Liedtke, H., 1957/1958. Einige Beobachtungen an norddeutschen Dünen. Wiss. Zeits. Humboldt Univ. zu Berlin, Math. Nat. Reihe 7, 445-448.
Lindroos, P., 1972. On the development of Late Glacial and Post-Glacial dunes in North Karelia, eastern Finland. Geol. Surv. Finland, Bull. 254, 1-85.
Linke, M., 1968. Ein weiterer Beitrag zur Frage der Alterstellung der Binnendünen. Hercynia 5, 420-436.
Loeff, J.A. van der, 1948. Hout en wildwallen. Landbk. Tijds. 60, 249-256.
Lumme, E., 1934. Die Flugsandfelder und Dünengebiete Finnlands. Inst. Geogr. Univ. Aboensis, Publ. 11, Helsinki.
Lundqvist, G., 1959. Description to accompany the maps of the Quaternary deposits of Sweden. S.G.U. Ser. B, 17, 31-33.
Lynden, K.R. van, 1958. De Bodemgesteldheid van de boswachterij Kootwijk. Rapport Stichting voor Bodemkartering nr. 493. Wageningen.
Lynden, K.R. van, 1962. De bodemgesteldheid van de Boswachterijen Hoenderlo en Ugchelen. Rapport Stichting voor Bodemkartering, nr. 569. Wageningen.
Maarleveld, G.C., 1955. Fluvio-glaciale afzettingen in Midden-Nederland. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 72, 48-58.
Maarleveld, G.C., 1956. Grindhoudende Midden-Pleistocene sedimenten. Het onderzoek van deze afzettingen in Nederland en aangrenzende gebieden. Med. Geol. Stichting C-VI/6.
Maarleveld, G.C., 1960. Glacial and periglacial landscape forms in the central and northern Netherlands. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 77, 298-304.
Maarleveld. G.C., 1962. The Veluwe. Med. Geol. Stichting, N.S. 15, 49-54.
Maarleveld, G.C., 1966. A simple method of characterizing sands. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 83, 272-277.
Maarleveld, G.C., 1968. Voorlopige resultaten van dekzandonderzoek met de plakbandmethode. Boor en Spade 16, 38-65.

Maarleveld, G.C., 1970. On the angularity of some Dutch sands. In: From field to laboratory, Fys. Geogr. en Bodemk. Lab., Univ. van Amsterdam, Publ. 16, 85-86.
Maarleveld, G.C. en G.W. de Lange, 1973. Tracé Rijksweg 50. Gedeelte Rijksweg 12. Veluws Eiland, geomorfologisch onderzoek. Rapport 1108, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
Maarleveld, G.C. en J.C. Pape, 1960. De geologische- en bodemgesteldheid van het Nationale Park "De Hoge Veluwe". Uitg. Studiekring voor de Veluwe.
Maarleveld, G.C. en R.P.H.P. van der Schans, 1961. De dekzandmorfologie van de Gelderse Vallei. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 78, 22-34.
Marcinek, J. und B. Nitz, 1973. Das Tiefland der Deutschen Demokratischen Republik. Leitlinien seiner Oberflächengestaltung. Leipzig.
Maréchal, R. et G.C. Maarleveld, 1955. L'extension des phénomènes périglaciaires en Belgique et aux Pays-Bas. Med. Geol. Stichting 8, 77-86.
Marel, H.W. van der, 1949. Mineralogical composition of a heath podzol profile. Soil Science 67, 193-207.
Margolis, S.U. and D.H. Krinsley, 1971. Submicroscopic frosting on eolian and subaqueous quartz sand grains. Geol. Soc. of Am. Bull. 82, 3395-3406.
Marsman, B.A., 1971. De A1-vorming bij zandgronden, gelegen langs de rand van stuifzandgebieden. Boor en Spade 17, 23-34.
Martens van Sevenhoven, A.H., 1925. Geschiedkundige Atlas van Nederland. Tekst bij kaart VI, Marken in Gelderland. 's Gravenhage.
Mason, C.C. and R.L. Folk, 1958. Differentiation of beach, dune and eolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. Journ. of Sed. Petr. 28, 211-226.
Matthews, B., 1970. Age and origin of aeolian sand in the Vale of York. Nature, 227, 1234-1236.
Mattox, R.B., 1955. Eolian shape-sorting. Journ. of Sed. Petr. 25, 111-114.
McCullogh, D., Moser, F. and L. Briggs, 1960. Hydraulic shape of mineral grains. Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 71, p. 1925.
McKee, E.D., 1966. Structures of dunes at White Sands National Monument. New Mexico. Sedimentology 7, 1-69.
Meyer, F.H., 1964. The role of the fungus: Cenococcum gr iiforme (Sow.) ferd. et winge in the formation of mor. In: A. Jongerius (ed.), Soil micromorphology, 23-31.
Metz, W.H., 1975. Pre- en protohistorie in Veluws Museum "Nairac" te Barneveld. Schaffelaarreeks 2.
Mikkelsen, V.M., 1952. A contribution to the history of vegetation in the Sub-Atlantic Period. Pollenanalytiske Undersøgelser ved Bolle. In: A. Steenberg (red.), Bondehuse og Vandmøller i Danmark. Gennem 2000 År., København, 109-130, 299-303.
Mikkelsen, V.M., 1954. Studies on the Sub-Atlantic history of Bornholm's vegetation. Danm. Geol. unders. 2/80, 210-229.
Moerman, H.J., 1956. Nederlandse plaatsnamen. Een overzicht. Leiden.
Moerman, J.D., 1934. Veluwse beken en daling van het grondwaterpeil. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 51, 495-520 en 676-697.
Moerman, J.D., 1969/70. Oude smeedijzerindustrie III en IV. Bijdr. en Med. Gelre 63 en 64.
Munaut, A.V., 1967. Recherches paléo-écologiques en basse et moyenne Belgique. Acta Geogr. Lovaniensa 6.
Mücher, H.J., 1973. Enkele aspecten van de loess en zijn noordelijke begrenzing in het bijzonder in Belgisch en Nederlands Limburg en in het daaraangrenzend gebied in Duitsland. Geogr. Tijds. 7, 259-276.
Mücke, E. und M. Linke, 1967. Zur Dünenbildung in der Südöstlichen Altmark. Hercynia 4, 426-438.
Müller, E.H., 1959. Art und Herkunft des Lösses und Bodenbildungen in den äolischen Ablagerungen Nordrhein-Westfalens unter Berücksichtigung der Nachbargebiete. Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen 4, 255-265.
Noack, S., 1966. Zu Fragen der Formengestaltung norddeutscher Binnendünen. Wiss. Z. Univ. Halle 15, 67-73.
Nowaczyk, B., 1976. Geneza I zozwój wydm śródladowych w zachodniej cześci pradoliny warszawsko-berlinskiej w świetle badań struktury, uziarnienia I stratigrafii budujacych je osadów. (Summ. The genesis and development of inland dunes in the western part of the Warsaw-Berlin pradolina in the light of examinations of the structure, granulation and stratigraphy of the deposits which built them). Poznańskie Towarzystwo Przyjacial Nauk. Prace Komisji Geogr.-Geol., Tom XVI.
Otto, W.M., 1959. Grondverbetering op lage zandgronden. Diss. Wageningen.
Page, H.G., 1955. Phi-millimeter conversion table. Journ. of Sed. Petr. 25, 285-292.
Pape, J.C., 1970. Plaggen soils in The Netherlands. Geoderma 4, 229-255.
Pachur, H.J., 1966. Untersuchungen zur morphoskopischen Sandanalyse. Berliner Geogr. Abh. 4.
Peerlkamp, P.K., 1970. Grondverstuivingen en hun bestrijding. Jaarverslag Inst. voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (Gr.), 74-86.
Peeters, L., 1943. Les dunes continentales de la Belgique. Bull. Soc. Belge de Géol. 52, 51-61.
Pelišek, J., 1963. Pleistozäne Dünensande in der Tschechoslowakischen Sozialistischen Republik. Eisz. und Gegenw. 14, 216-223.
Pernarowski, L., 1959. O procesie sortowania piaskow eolicznych na przykladzie wydm okolic Rzedowa (Summ. Notes on sorting of aeolian sands). Czas. Geogr. 30/1, 33-60.
Perrin, R.M.S., Davies, H. and M.D. Fysh, 1974. Distribution of late Pleistocene aeolian deposits in eastern and southern England. Nature 248, 5446, 320-324.
Persch, Fr., 1950. Zur postglazialen Wald- und Moorentwicklung im Hohen Venn. Decheniana 104, 81-93.
Pertsch, R., 1970. Landschaftentwicklung und Bodenbildung auf der Stader Geest. Forsch. zur Deutschen Landeskunde 200.

Pettijohn, F.J., Potter, P.E. and R. Siever, 1972. Sand and sandstone. Berlin.
Plas, L. van der and A.C. Tobi, 1965. A chart for judging the reliability of point counting results. Am. Journ. of Science 263, 87-90.
Ploey, J. de, 1961. Morfologie en Kwartairstratigrafie van de Antwerpse Noorderkempen. Acta Geogr. Lovaniensia 1.
Ploey, J. de, 1976. Some experimental data on slope wash and wind action with reference to Quaternary morphogenesis in Belgium. The dune station at Kalmthout - Wilgeduinen. In: Excursion Guide and Abstracts of papers, First Benelux Colloquium on geomorphological processes, Leuven 1976, 14-19, 83-86.
Poel, J.M.G. van der, 1960/61. De landbouw in het verste verleden. Ber. R.O.B. 10-11, 125-194.
Polak, B., 1959. Palynology of the "Uddeler Meer". Acta Bot. Neerl. 9, 547-571.
Polak, B., 1968. Peat under a table-shaped drift sand mound in the northern Veluwe (Hulshorst). Acta Bot. Neerl. 17, 33-43.
Poser, H., 1950. Zur Rekonstruktion der Spätglazialen Luftdruckverhältnisse in Mittel- und Westeuropa auf Grund der vorzeitlichen Binnendünen. Erdkunde 4, 81-88.
Powers, N.C., 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. Journ. of Sed. Petr. 23, 117-119.
Pyritz, E., 1972. Binnendünen und Flugsandebenen im Niedersächsischen Tiefland. Göttinger Geogr. Abhandl. 61.
Radulescu, N.A., 1968. Caractères physico-géographiques, fixation et mise en valeur actuelle des dunes de Roumanie. Rev. Roum. Géophys. et Géogr., Sér. de Géogr. 12, 73-78.
Regteren Altena, H.H. van 1974. Een Vroeg-Middeleeuwse nederzetting bij Kootwijk (Gld.). Jaarboek 1973 Z.W.O., 109-116.
Reuter, K.N. en J.J. Kouwe, 1958. De landbouwwaterhuishouding in de provincie Gelderland. Rapport nr. 6 Comm. Onderz. Landbouwwaterhuish. Ned. T.N.O.
Ribault, L. le, 1974.L'éxoscopie, méthode de détermination de l'histoire géologique des quartz détritiques. Revue de Geogr. Phys. et de Géol. Dyn. 16, 119-130.
Ribault, L. le, 1975. L'exoscopie. Méthode et Applications. Notes et Mémoires no. 12, Total, Compagnie Française des Pétroles. Paris.
Riezebos, P.A., 1971. A contribution to the sedimentary-petrological description of the Maas deposits in northern Limburg (The Netherlands). Geol. en Mijnb. 50, 505-514.
Riezebos, P.A. and R.T. Slotboom, 1970. Some data on the Holocene deposits in the Mark and Weerijs valleys (Prov. of Noord-Brabant, The Netherlands). Geol. en Mijnb. 49, 119-134.
Riezebos, P.A. and R.T. Slotboom, 1974. Palynology in the study of present-day hillslope development. Geol. en Mijnb. 53, 436-448.
Riezebos, P.A. and L. van der Waals, 1972/73. Some optical observations on thin-sections of lustrous and dull quartz grains. A preliminary report. Med. Rijks Geol. Dienst, N.S. 23, 69-81.
Righi, D. and F. de Coninck, 1974. Micromorphological aspects of humods and haplaquods of the "Landes du Médoc", France. In: G.K. Rutherford (ed.), Soil microscopy. Ontario, Canada, 567-588.
Roever, P. de, Riezebos, P.A. en H.P.M. Stoltenberg, 1975. De verbreiding en de mineralogische samenstelling van rivierduinen en dekzanden ten zuidwesten van Meppel. Boor en Spade 19, 86-97.
Ronai, A., 1968. The Quaternary of the Hungarian Basin, Budapest. In: Guide-book to the 41e excursion of the XXIIIrd Intern. Geol. Congr. in Prague.
Roo, H.C. de, 1952. Over de oppervlakte-geologie van het Drentse plateau. Boor en Spade 5, 102-118.
Roo, H.C. de, 1953. Enkele bodemkundige aantekeningen over de Drentse essen. Boor en Spade 6, 59-76.
Rotnicki, K., 1970. Główne problemy wydm śródladowych w Polsce w świetle badań wydmy w Weglewicach (Summ. Main problems of inland dunes in Poland based on investigations of the dune at Weglewice). Poznańskie Towarzystwo Przyjaciól Nauk. 11/2. Poznań.
Roy Ladurie, E. le, 1971. Times of feast, times of famine. A history of climate since the year 1000. London.
Salomé, A.I. en P.M.J. Bruckwilder-Kop, 1972. Veranderingen op de Weerter Heide en omgeving 1936-1970. Geogr. Tijds. 6, 140-147.
Sanglerat, G., 1972. The penetrometer and soil exploration. Interpretation of penetration diagrams - theory and practice. Developments in Geotechnical Engineering 1. Amsterdam.
Scharpenzeel, H.W., 1971. Radiocarbon dating of soils - problems, troubles, hopes. In: D.H. Yaalon (ed.), Paleopedology, origin, nature and dating of paleosols. Jerusalem, 77-89.
Schelling, J., 1955. Stuifzandgronden. Uitv. Versl. van het Bosb. proefst. T.N.O. 2/1.
Schelling, J., 1957. Herkunft, Aufbau und Bewertung der Flugsande im Binnenlande. Erdkunde 11, 129-135.
Schimmel, H., 1975. "Atlantische woestijnen" de Veluwse zandverstuivingen. Natuur en Landschap 29, 11-44.
Schimmel, H.J.W. en J. ter Hoeve, 1952. Bodemgesteldheid en waterhuishouding van de "Gerritsflesch" bij Kootwijk. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 69, 16-28.
Schneider, H.E., 1970. Problems of quartz grain morphoscopy. Sedimentology 14, 325-335.
Schoonderbeek, D., 1965. Over eolische afzettingen van de Berkel tussen Borculo en Lochem. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 82, 235-244.
Sekyra, J., 1961. Wind-blown sands. Inst. Geol. Odbitka Z., Tomu, 34 Prac, InQUA, Warszawa 1961, 29-38.
Seppälä, M., 1969. On the grain size and roundness of wind-blown sands in Finland as compared with some Central European samples. Bull. Geol. Soc. Finland 41, 165-181.
Seppälä, M., 1971. Evolution of eolian relief of the Kaamasjoki-Kiellajoki river basin in Finnish Lapland. Fennia 104.
Seppälä, M., 1972. Location, morphology and orientation of inland dunes in Northern Sweden. Geogr. Ann. 54 A/2, 85-104.

Seppälä, M., 1974. Some quantitative measurements of the present-day deflation on Hietatievat, Finnish Lapland. In: H. Poser (ed.), Geomorphologische Prozesse und Prozeskombinationen in der Gegenwart unter verschiedenen Klimabedingungen. Göttingen, 208-220.
Seppälä, M., 1975. International research programme for periglacial sand dune studies - A recommendation. Quaestiones Geographicae, UAM, 2., 139-143.
Sevink, J., Hulshof, O.K., Mücher, H.J. and S.B. Kroonenberg, 1970. Age and development of some fossil podsols in the Dinkel valley (E. Netherlands). In: From field to laboratory, Fys. Geogr. en Bodemk. Lab., Univ. van Amsterdam, Publ. 16, 133-148.
Sindowski, K.H., 1956. Korngrössen- und Kornformen-Auslese beim Sandtransport durch Wind (nach Messungen auf Norderney). Geol. Jahrb. 71, 517-526.
Sindowski, K.H., 1958. Die synoptische Methode des Kornkurven-Vergleiches zur Ausdeutung fossiler Sedimentationräume. Geol. Jahrb. 73, 253-275.
Slicher van Bath, B.H., 1960. De agrarische geschiedenis van West-Europa (500-1850).
Slicher van Bath, B.H., 1964. Studiën betreffende de agrarische geschiedenis van de Veluwe in de Middeleeuwen. A.A.G. Bijdr. 11, 13-79.
Slotboom, R.T., 1963. Comparative geomorphological and palynological investigation of the Pingos (Viviers) in the Hautes Fagnes (Belgium) and the Mardellen in the Gutland (Luxembourg). Diss. Amsterdam.
Sluys, P. van der en G.C. Maarleveld, 1963. Dekzandruggen uit de Jonge Dryastijd in Zeeuws-Vlaanderen. Boor en Spade 13, 21-26.
Smidt, J.T. de, 1966. The inland-heath communities of The Netherlands. Wentia 15, 142-162.
Smidt, J.T. de, 1969. Het Kootwijkerzand, kerngebied der Europese stuifzanden. De Levende Natuur 72. 7-11.
Snacken, F., 1956. Eolisch zandtransport langs het Belgisch Strand. Natuurwet. Tijds. 38, 89-99.
Solger, F., 1910. Nordostdeutsche Inlanddünen. Stuttgart.
Soutendam, C.J.A., 1967. Some methods to study surface textures of sand grains. Sedimentology 8, 281-290.
Soveri, U., 1948. Eräiden turvelajiemme kemiallisesta kokoomuksesta ja sen vaikutuksesta niiden polttoarvoon (Summ. On the chemical compositior of some varieties of Finnish peat and its influence on their calorific value). Maataloust.eteellinen Aikakauskirja 20, Helsinki, 81-100.
Sørensen, R.P., 1972. Iagttagelser I jyske indsande. Dansk Geol. Forening, Årsskrift for 1971, 5-26.
Sparks, B.W. and R.G. West, 1972. The Ice Age in Britain. Norwich.
Stichting voor Bodemkartering, 1965a. De bodem van Nederland. Toelichting bij de bodemkaart van Nederland, schaal 1:200.000. Wageningen.
Stichting voor Bodemkartering, 1965b. Beknopt verslag van werkzaamheden. Wageningen.
Stichting voor Bodemkartering, 1972. Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. Toelichting bij de kaartbladen 57 Oost Valkenswaard en 58 West Roermond. Wageningen.
Stichting voor Bodemkartering, 1976. Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. Toelichting bij de kaartbladen 45 Oost 's-Hertogenbosch en 46 West - 46 Oost Vierlingsbeek. Wageningen.
Stoutjesdijk, P., 1959. Heaths and inland dunes of the Veluwe. A study on some of the relations existing between soil, vegetation and microclimate. Diss. Utrecht.
Straaten, L.M.J.U. van, 1961. Directional effects of winds, waves and currents along the Dutch North Sea coast. Geol. en Mijnb. 40, 333-346, 363-391.
Straaten, L.M.J.U. van, 1963. Aspects of Holocene sedimentation in The Netherlands. Verh. K.N.G.M.G. G.S. 21-1, 149-170.
Straw, A., 1963. Some observations on the "cover sands" of North Lincolnshire. Transactions of the Lincolnshire Naturalists' Union, 15, 260-269.
Svoboda, J. et al., 1966. Regional geology of Czechoslovakia. Part I. The Bohemian Massif. Prague.
Suess, H.E., 1973. Natural radiocarbon. Endeavour 32, 115, 34-38.
Sundborg, A., 1955. Meteorological and climatological conditions for the genesis of aeolian sediments. Geogr. Ann. 37, 94-111.
Sijp, J.W.C.M. van der, 1952. Some remarks on the sandridges of the NE-Veluwe. Geol. en Mijnb. 14, 45-47.
Teunissen, D. en H.G.C.M. Teunissen-van Oorschot, 1973. Het Heerenven en zijn naaste omgeving op het landgoed De Hamert in Midden Limburg. Meded. Afd. Biogeologie, Sectie Biologie Univ. van Nijmegen, 6.
Thorarinsson, S., 1963. L'érosion éolienne en Islands à la lumière des études téphrochronologiques. Rev. de Geomorph. Dynam. 13, 107-124.
Thorarinsson, S., Einarsson, T. and G. Kjarstansson, 1960. On the geology and geomorphology of Iceland. Int. Geogr. Congr. Norden 1960, Geogr. Ann. 41, 135-169.
Toorn, J.C. van den, 1967. Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Venlo West (52W). Haarlem.
Trask, P.D., 1932. Origin and environment of source sediments of petroleum. Houston.
Udden, J.A., 1898. Mechanical composition of wind deposits. Augustana Library Publ. 1.
Urbaniak, U., 1966. Sklad mineralny piaskow wydmowych w Kotlinie Plockiej (Summ. Mineral composition of dune sands from the Plock Basin), Przegl. Geogr. 38/3, 435-453.
Veen, J.S. van, 1930. Bestrijding van zandverstuivingen. Bijdr. en Med. Gelre 33, 227-228.
Veenstra, H.J. and A.M. Winkelmolen, 1971. Directional trends in Dutch coversands. Geol en Mijnb. 50, 547-558.
Veldhorst, A.D.M., 1965. Uit de geschiedenis van het Nationale Park "De Hoge Veluwe". Boor en Spade 14, 117-137.

Vink, A.P.A., 1949. Bijdrage tot de kennis van loess en dekzanden; in het bijzonder van de Zuidoostelijke Veluwe. Diss. Wageningen.
Vink, A.P.A. and J. Sevink, 1971. Soils and paleosols in the Lutterzand. In: T. van der Hammen and T.A. Wijmstra (ed.), The Upper Quaternary of the Dinkel Valley. Med. Rijks Geol. Dienst, N.S. 22, 165-185.
Volker, A., 1969. Het Veluwemeer. Schakel tussen oud en nieuw land. Rapp. en Med. betreffende de Zuiderzeewerken 7.
Voorwijk, G.H. en S. Hardjoprakoso, 1945. De vennen te Eerde bij Ommen. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 62, 105-117.
Vossmerbäumer, H., 1973. Quartäre Flugsande in Nordbayern. Geol. Bl. NO-Bayern 23/1. Erlangen, 1-20.
Vossmerbäumer, H., 1976. Granulometrie quartärer äeolischer Sande in Mitteleuropa. Ein Überblick. Zeits. für Geomorph. N-F. 20, 78-96.
Walter, W., 1950. Dünenstudien im Schwanheimer Wald bei Franfurt. Ueber den Einfluss elektrischer Raumladungen bei Flugsanden und ihre Bedeutung für die Dünenbildung. Rhein-Mainische Forschungen 28.
Walter, W., 1951. Neue morphologisch-physikalische Erkentnisse über Flugsand und Dünen. Rhein-Mainische Forschungen 31.
Wartena, R., 1972. De Veluwe, ontginningen en "Wüstungen" in de veertiende eeuw. Cult. techn. Tijds. 11, 210-219.
Wartena, R., 1974/75. Ontginningen en "Wüstungen" op de Veluwe in de veertiende eeuw. Bijdr. en Med. Gelre 68, 1-50.
Waterbolk, H.T., 1954. De praehistorische mens en zijn milieu. Diss. Groningen.
Waterbolk, H.T. en T.H. van Andel, 1951. Stuifzandprofielen te Havelte. N.Dr.Volksalm. 69, 141-156.
Watt, A.S., 1937. Studies in the ecology of Breckland. II. On the origin and development of blowouts. Journ. of Ecology 25, 91-112.
Wee, M.W. ter, 1966. Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Steenwijk Oost (160). Haarlem.
Wessely, J., 1873. Der Europäische Flugsand und seine Kultur. Wien.
Westhoff, V., Bakker, P.A., Leeuwen, C.G. van en E.E. van der Voo, 1973. Wilde planten, flora en vegetatie in onze natuurgebieden. Deel 3: De hogere gronden. Ver. tot Beh. van Natuurmon. in Nederland.
Williams, G., 1964. Some aspects of the eolian saltation load. Sedimentology 3, 257-287.
Williams, R.B.G., 1975. The British climate during the last Glaciation; an interpretation based on periglacial phenomena. In: A.E. Wright and F. Moseley (eds.), Ice ages: ancient and modern. Geol. Journ. Spec. Iss. 6, 95-120.
Winkelmolen, A.M., 1969. Experimental rollability and natural shape sorting of sand. Diss. Groningen.
Woldstedt, P., 1955. Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter. Stuttgart.
Woldstedt, P. und K. Duphorn, 1974. Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter. Stuttgart.
Wolterson, J.F., 1973. De grove den, een inheemse boom. Ned. Bosb. Tijds. 45, 261-267.
Wijmstra, T.A. and E.J. Schreve-Brinkman, 1971. The Lutterzand section. In: T. van der Hammen and T.A. Wijmstra (eds.), The Upper Quaternary of the Dinkel Valley. Med. Rijks Geol. Dienst, N.S. 22, 87-100.
Wijmstra, T.A., Smit, A., Hammen, T. van der and B. van Geel, 1971. Vegetational succession, Fungal spores and short-term cycles in pollen diagrams from the Wietmarscher Moor, Acta Bot. Neerl. 20, 401-410.
Zagwijn, W.H., 1971. Vegetational history of the coastal dunes in the Western Netherlands. Acta Bot. Neerl. 20, 174-182.
Zagwijn, W.H. and C.J. van Staalduinen (red.), 1975. Toelichting bij de geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geol. Dienst. Haarlem.
Zeist, W. van, 1959. Studies on the Post-Boreal vegetational history of southeastern Drente (The Netherlands). Acta Bot. Neerl. 8, 156-185.
Zinderen Bakker, E.M. van, 1948. Palynologisch en stratigrafisch onderzoek van Veluwse venen. Tijds. Kon. Ned. Aardr. Gen. 65, 174-192.
Zonneveld, I.S., 1965. Studies van landschap, bodem en vegetatie in het westelijk deel van de Kalmthoutse heide. Boor en Spade 14, 216-238.
Zonneveld, I.S., 1966. Zusammenhänge Forstgesellschaft - Boden - Hydrologie und Baumwuchs in einigen Niederländischen Pinus - Forsten auf Flugsand und auf Podsolen. In: R. Füxen (red.), Anthropogene Vegetation, 312-335.
Zonneveld, J.I.S., 1946. Beschouwingen naar aanleiding van de korrelgrootte der zware mineralen in zandige sedimenten. Geol. en Mijnb. 8, 83-90 en 93-105.
Zuiderveen Borgesius, J.J., 1973. Bijdrage tot de geschiedenis van Veluwse malebossen. St. Bosb. Proefst. "De Dorschkamp", Intern Rapport no. 49. Wageningen.

Appendix 3a: Korrelgrootteverdelingen van stuifzanden en andere afzettingen (lijsten met berekende percentielen en parameters zijn op verzoek bij de auteur verkrijgbaar)
Grainsize distributions of drift sands and other deposits (lists with calculated percentile values and graphical parameters can be obtained from the author on request)

korrelgrootteverdeling / grainsize distribution — fraction boundaries: > 850 µm, 600 µm, 420 µm, 300 µm, 210 µm, 150 µm, 105 µm, 75 µm, 50 µm <

groep / group	monsternummer / sample number	lokatie en materiaal / location and material	bemonsteringsdiepte in dm / sampling depth in dm	1'									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MIDDEN VELUWE central Veluwe													
1	67/1	Otterlose Bos, stuifzand	1 - 3	0.1	0.8	2.5	6.5	17.5	43.0	25.0	3.5	0.5	0.1
	67/2	drift sand	2 - 4	-	0.1	1.0	3.0	12.0	45.0	33.5	4.5	0.4	-
	67/3		0 - 1	0.6	1.0	2.5	6.5	14.0	36.5	30.0	6.0	1.5	0.9
	67/4		0 - 1	1.4	2.0	4.5	8.0	16.0	37.5	25.5	4.5	0.8	0.1
	67/5		0 - 1	0.4	1.0	4.0	9.0	19.5	38.5	23.5	3.5	0.5	0.1
	67/6		2 - 4	0.1	0.1	0.5	2.0	10.5	44.5	33.5	6.5	1.5	0.3
	67/7		2 - 4	0.3	0.2	0.7	2.5	9.0	39.0	38.0	8.0	1.5	0.7
	67/8		1 - 3	-	-	0.1	1.5	11.5	50.0	32.5	4.0	0.4	-
	67/9		1 - 3	-	0.5	2.5	8.0	18.5	41.0	25.5	3.5	0.4	-
	67/10		1 - 3	0.2	-	1.0	5.0	16.0	47.0	27.5	3.5	0.5	0.2
2	67/23	Otterlose Bos, stuifzand	7 - 9	0.3	1.0	3.5	10.0	19.0	38.5	23.0	4.0	0.6	0.1
	67/24	drift sand	2 - 4	0.2	0.3	0.6	3.5	15.5	50.5	26.5	2.5	0.2	-
	67/25	top randwalduin	5.5- 7.5	0.3	0.5	2.0	7.0	19.0	43.0	25.0	3.0	0.5	0.2
	67/26	top bordering dune ridge	5 - 7	-	0.1	1.0	4.0	16.0	48.0	27.0	3.0	0.4	0.1
	67/27		4.5- 6.5	0.3	0.3	0.4	2.0	15.0	51.0	27.0	3.0	0.3	-
	67/28		3 - 5	0.4	0.4	1.5	5.0	16.0	44.5	27.5	3.5	0.5	-
	67/29		3 - 5	0.3	0.5	1.5	6.5	18.5	40.0	27.0	4.5	1.0	-
	67/30		3.5- 5.5	0.3	0.2	0.6	3.0	11.5	47.5	33.0	3.5	0.4	0.2
	67/31		4.5- 6.5	0.4	0.5	1.0	3.0	9.5	36.0	38.0	8.5	2.0	0.7
	67/32		5 - 7	0.4	0.5	1.5	4.0	12.5	36.5	33.5	8.0	2.0	0.6
3	67/15	Otterlose Bos, dekzand	8 - 10	0.9	1.0	1.5	4.0	11.0	36.0	33.5	9.0	2.0	0.6
	67/16	cover sand	7 - 9	0.6	0.4	1.0	4.0	13.0	40.5	29.5	7.5	2.5	1.5
	67/17		7 - 9	1.0	1.0	2.0	4.5	12.0	36.0	29.0	7.5	3.5	3.5
	67/18		9 - 11	0.2	0.7	3.0	8.0	17.5	35.5	25.5	6.0	2.0	1.0
	67/19		9 - 11	0.7	0.5	1.5	4.0	12.5	41.0	31.0	6.5	1.5	0.5
	67/20		7.5- 9.5	1.1	0.9	1.5	4.0	11.5	36.0	31.5	9.0	3.5	1.5
	67/21		9 - 11	4.5	3.5	3.5	6.5	15.5	35.5	23.5	5.0	1.5	1.0
	67/22		10 - 12	3.5	3.1	2.5	5.0	11.0	31.0	29.0	8.5	3.0	2.5
4	69/ 1	Otterlose Bos, stuifzand	1 - 2	-	0.3	0.5	3.5	15.5	36.5	35.0	6.0	1.0	1.6
	67/ 2	drift sand	3 - 4	0.2	0.1	0.5	3.5	15.0	39.0	34.5	5.5	1.0	1.8
	69/ 3	onderaan loefzijde randwalduin	1 - 2	0.8	1.0	2.5	9.5	23.5	37.0	22.0	2.0	0.3	1.4
	69/ 4	stoss-side base bordering dune ridge	3 - 4	0.4	0.5	1.5	7.0	20.5	39.5	27.0	2.0	0.1	1.3
	69/ 5		1 - 2	0.4	1.0	3.5	11.5	25.0	36.5	20.5	1.0	0.1	1.0
	69/ 7		1 - 2	1.2	1.5	3.5	11.0	22.5	35.5	22.5	1.5	0.1	0.9
	69/ 8		3 - 4	0.1	0.5	2.0	6.0	14.0	36.0	35.5	3.5	0.5	2.0
	69/ 9		1 - 2	0.6	1.5	3.0	9.0	21.0	40.5	22.5	1.0	0.1	1.0
	69/10		3 - 4	0.1	0.2	0.5	3.5	14.0	37.5	38.0	4.0	0.3	1.8
5	69/11	Otterlose Bos, stuifzand	1 - 2	0.2	0.2	0.5	5.5	18.0	39.0	33.5	2.5	0.1	1.3
	69/12	drift sand	3 - 4	0.7	1.5	3.5	11.0	21.5	35.5	24.0	1.5	0.1	0.8
	69/13	halverwege loefzijde randwalduin	1 - 2	1.0	1.5	3.5	11.0	21.5	33.0	25.0	2.5	0.5	1.0
	69/14	stoss-side half way up bordering	3 - 4	0.7	1.5	3.5	10.0	22.0	37.5	22.0	1.5	0.1	1.2
	69/15	dune ridge	1 - 2	0.2	1.0	3.0	13.0	26.5	37.0	17.5	1.0	0.1	1.1
	69/16		3 - 4	-	0.1	1.0	6.5	34.0	44.5	12.5	0.1	-	1.1
	69/17		1 - 2	0.2	0.5	3.0	11.0	27.0	38.0	18.0	0.5	0.1	1.2
	69/18		3 - 4	0.1	0.5	2.5	10.0	23.0	36.5	25.0	1.5	0.1	1.1
	69/19		1 - 2	0.1	0.3	1.0	5.5	18.5	40.5	30.5	2.0	0.1	1.2
	69/20		3 - 4	0.2	0.2	1.0	4.0	17.5	42.0	31.5	2.5	0.1	1.2
6	69/21	Otterlose Bos, stuifzand	1 - 2	0.1	0.2	1.5	6.0	17.5	46.5	25.0	1.5	0.1	1.4
	69/22	drift sand	3 - 4	-	0.2	0.5	4.5	18.0	51.5	23.0	1.0	0.1	1.4
	69/23	top randwalduin	1 - 2	0.1	0.3	1.0	4.5	14.5	48.0	27.5	2.0	0.3	2.1
	69/24	top bordering dune ridge	3 - 4	0.1	0.4	1.5	6.5	23.0	45.5	20.0	1.0	0.1	1.8
	69/25		1 - 2	0.7	0.5	1.0	4.5	12.5	38.5	31.5	5.0	0.5	6.0
	69/26		3 - 4	0.1	0.5	1.5	6.0	20.0	47.0	21.5	1.5	0.2	1.7
	69/27		1 - 2	-	0.1	0.2	1.5	10.0	46.5	36.0	4.0	0.4	2.0
	69/28		3 - 4	0.2	0.3	1.0	4.0	14.0	44.0	31.5	2.5	0.3	1.9
	69/29		1 - 2	0.9	2.0	4.5	11.0	24.0	40.5	16.0	0.5	0.1	1.2
	69/30		3 - 4	0.2	0.5	3.0	11.0	25.5	38.0	17.0	1.5	0.1	1.1

7	69/31	Otterlose Bos, stuifzand drift sand	3 - 4	0.4	1.5	4.5	11.0	22.0	36.5	19.0	2.0	0.4	2.8
	69/32	lijzijde randwalduin lee-side bordering dune ridge	3 - 4	0.2	0.1	0.5	2.0	7.5	31.5	42.5	9.5	2.0	4.6
	69/33		3 - 4	0.7	1.5	4.0	8.5	17.5	39.0	25.5	1.5	0.1	1.6
	69/34		3 - 4	0.2	0.4	1.0	3.5	10.5	39.5	36.5	5.5	1.0	2.3
	69/35		3 - 4	0.2	0.5	2.5	7.5	15.0	40.0	27.0	4.0	1.0	2.9
	69/36		3 - 4	0.2	1.0	2.5	5.5	14.5	36.5	29.0	5.0	1.0	5.2
	69/37		3 - 4	0.1	0.4	1.5	4.5	13.0	36.0	33.0	6.0	1.5	4.4
	69/38		3 - 4	0.1	0.4	1.5	6.0	18.5	42.5	26.5	2.5	0.3	2.1
	69/39		3 - 4	0.2	0.4	2.0	12.0	31.5	43.0	8.5	0.2	0.1	1.6
	69/40		3 - 4	0.1	1.0	7.5	18.0	25.0	29.5	14.5	1.5	0.4	2.7
8	71/53	Otterlose Zand, stuifzand drift sand	3 - 4	(>420µm)		3.0	5.0	12.5	33.5	35.5	8.0	2.0	0.9
	71/54		3 - 4			1.0	4.5	14.0	44.0	32.5	3.5	0.3	0.1
	71/55		3 - 4			1.5	6.5	16.5	40.0	31.5	3.5	0.4	0.1
	71/56		3 - 4			0.4	3.5	11.0	36.0	41.0	6.5	0.8	0.8
	69/42	Mosselse Zand, stuifzand drift sand	1 - 2	0.3	0.4	2.0	5.5	17.0	38.0	30.5	4.5	1.0	0.8
	69/43		1 - 2	0.2	0.6	1.5	4.0	13.0	39.5	34.0	5.0	0.9	1.3
	69/44		1 - 2	0.4	0.4	1.0	2.5	8.5	35.0	39.5	9.0	1.5	2.2
	69/45		1 - 2	0.7	1.0	4.5	10.0	19.0	31.0	24.5	5.0	1.5	2.8
	69/46		1 - 2	0.1	0.2	1.0	3.0	12.5	42.0	34.0	5.0	1.0	1.2
	69/47		1 - 2	-	-	-	0.6	8.5	35.5	47.5	8.0	1.0	1.9
	69/48		1 - 2	-	-	0.3	3.3	11.5	42.5	35.5	5.0	0.7	1.5
	69/49		1 - 2	-	0.3	2.0	6.0	19.5	41.5	23.5	3.0	0.4	3.8
	69/50		1 - 2	-	0.3	1.5	5.0	15.5	42.6	28.5	4.0	0.5	2.1
	69/51	Franse Berg, stuifzand drift sand	1 - 2	0.7	0.8	2.5	5.0	14.0	35.5	31.0	7.0	1.5	2.0
	69/52		1 - 2	0.2	0.3	1.0	4.0	15.5	39.5	31.5	4.5	1.0	2.5
	69/53		1 - 2	0.4	0.4	1.0	2.0	8.5	38.5	40.0	7.0	1.0	1.2
	69/54		1 - 2	0.4	1.0	2.0	6.0	14.0	31.0	30.5	9.5	3.5	2.1
	69/55		1 - 2	-	0.2	0.2	1.0	6.5	39.0	42.0	8.0	1.5	1.6
	69/56		1 - 2	0.1	0.2	0.5	2.0	9.5	36.0	40.0	8.0	2.0	1.7
	69/57		1 - 2	0.1	0.3	1.0	5.0	18.5	44.0	25.0	3.5	1.0	1.6
	69/58		1 - 2	-	0.1	0.2	0.9	6.0	39.0	44.5	6.5	1.0	1.8
	69/59		1 - 2	0.2	0.7	1.5	4.5	13.5	39.0	32.5	5.0	0.8	2.3
	69/60		1 - 2	0.4	0.7	1.5	5.5	15.5	39.5	30.5	4.0	0.8	1.6
	71/57	Oud-Reemster, stuifzand drift sand	3 - 4	(>420µm)		1.0	6.0	14.0	44.0	31.5	3.0	0.4	0.1
	71/58		3 - 4			2.5	9.0	17.0	42.0	27.0	2.5	0.4	0.1
	71/59		3 - 4			0.7	9.0	20.5	41.0	25.5	3.0	0.4	0.1
	71/60		3 - 4			4.0	9.0	16.5	39.0	28.5	2.5	0.3	0.2
	ZUID WEST VELUWE southwestern Veluwe												
9	71/25	Kreelse Zand, stuifzand drift sand	7 - 8			0.5	1.5	0.8	22.5	43.0	15.0	7.5	9.0
	71/26	Ginkelse Zand, stuifzand drift sand	4 - 6			0.8	4.0	0.5	44.0	41.5	5.5	2.5	1.5
	71/27	Doesburgerbuurt, stuifzand drift sand	9 - 10			5.0	14.5	10.5	41.5	21.5	4.0	1.5	1.5
	71/28		4 - 5			3.0	8.0	4.0	42.5	30.0	7.5	4.5	4.0
	71/29	Wekeromse Zand, stuifzand drift sand	5 - 6			0.4	0.9	0.9	25.0	45.0	15.0	8.5	5.0
	71/30		3 - 4			0.2	1.5	5.0	36.0	45.0	8.0	2.5	1.5
	71/31		3 - 4			0.4	1.5	1.0	32.5	45.5	11.5	3.0	4.5
	71/32		3 - 4			4.0	5.5	10.5	31.0	34.5	8.5	2.0	3.5
	71/33	Roekelse Bos, stuifzand drift sand	3 - 4			0.4	2.5	5.5	27.0	46.0	13.0	3.0	2.5
	71/34		3 - 4			0.1	0.5	0.4	20.5	53.0	17.0	4.5	4.0
	MIDDEN VELUWE central Veluwe												
10	71/15	Kootwijkse Zand, stuifzand drift sand	3 - 4			0.2	1.5	0.5	49.0	43.0	5.5	0.6	0.5
	71/16		3 - 4			0.4	2.0	0.1	48.5	41.5	6.0	1.0	0.5
	71/35	Kootwijkse Bos, stuifzand drift sand	3 - 4			1.0	2.0	9.5	30.0	41.0	10.0	2.5	3.0
	71/36		3 - 4			0.1	0.3	1.0	35.0	46.5	11.0	2.5	3.0
	71/37		3 - 4			0.6	2.5	0.5	41.0	39.5	9.5	3.0	4.0
	71/38		3 - 4			0.7	2.5	0.5	37.5	39.5	11.0	4.0	4.5
	72/12		14 - 15			11.6	7.1	18.5	36.2	24.1	2.3	0.2	-
	71/51	Harskampse Zand, stuifzand drift sand	3 - 4			5.0	11.0	19.0	38.0	24.0	2.5	0.5	0.3
	71/52		3 - 4			2.5	5.5	12.5	42.5	31.5	4.0	0.8	0.7
	71/61		3 - 4			8.0	10.5	17.0	35.0	25.0	3.5	0.6	0.4
	71/62		3 - 4			5.0	6.0	12.5	42.5	28.5	4.5	0.7	0.5
11	69/62	Stroese Zand, stuifzand drift sand	1.5- 2	0.1	0.3	0.7	2.0	6.5	26.5	37.0	13.5	7.0	6.4
	69/63		16 - 16.5	0.1	0.1	0.2	0.5	6.0	30.5	36.5	13.5	7.0	5.6
	69/64		31.5- 32	0.1	-	0.2	0.8	5.5	26.0	39.0	15.0	8.0	5.4

	69/65	Stroese Zand, dekzand cover sand	45 - 45.5	1.3	1.0	2.0	4.5	11.5	23.0	20.0	7.5	9.5	19.7
	69/66		53 - 53.5	1.7	1.5	5.0	9.5	18.0	33.5	19.0	5.5	3.5	2.8
	69/ 1C	Stroese Zand, stuifzand drift sand	10 - 10.5	-	0.1	0.2	0.5	2.0	12.0	30.5	22.0	16.5	16.1
	69/ 2C		12 - 12.5	-	-	-	0.2	1.5	18.5	38.5	19.5	11.0	10.5
	69/ 3C		14 - 14.5	-	-	0.1	0.8	2.5	14.0	26.0	22.5	15.0	19.0
	69/ 4C		21 - 21.5	0.1	-	0.1	0.8	5.5	22.5	33.5	16.5	10.5	10.5
	69/ 5C		33.5- 34	-	0.6	2.5	7.5	17.0	28.0	19.0	7.0	6.0	12.5
	71/39		3 - 4	(>420μm)		3.5	6.0	5.5	45.0	30.0	5.5	1.5	2.5
	71/40		3 - 4			2.0	5.0	0.5	48.0	32.5	6.5	1.5	3.5
	71/43		3 - 4			9.5	5.5	10.5	31.0	30.5	7.0	2.5	4.5
	71/44		3 - 4			6.5	4.0	0.3	36.5	33.0	9.5	4.0	6.0
	71/45		3 - 4			0.6	4.5	13.0	36.5	34.0	6.5	2.0	3.5
	71/46		3 - 4			2.0	3.5	8.5	32.5	36.5	11.0	3.0	3.0
	71/47		3 - 4			3.0	5.5	12.0	32.0	35.0	8.0	4.0	1.0
	71/48		3 - 4			8.0	10.0	16.5	26.5	30.5	5.0	1.5	2.0
	GELDERSE VALLEI												
12	69/85	Ruimzicht, stuifzand drift sand	3 - 4	0.1	-	0.2	0.8	7.0	27.5	39.5	14.0	6.0	4.9
	69/86		3 - 4	0.1	-	0.5	1.0	4.0	13.5	20.0	17.0	25.5	18.4
	71/41	Voorthuizen, stuifzand drift sand	4 - 5	(>420μm)		0.5	4.0	0.3	50.0	35.0	7.5	2.5	1.0
	71/42		4 - 5			0.3	3.5	0.6	42.5	39.5	8.0	1.5	4.0
	ZUID OOST VELUWE southeastern Veluwe												
13	69/67	Rozendaalse Zand, stuifzand drift sand	1 - 2	0.1	1.0	5.0	10.0	21.0	39.5	21.0	1.0	0.2	1.2
	69/68		1 - 2	0.1	1.0	10.5	21.0	26.0	28.0	12.5	0.5	-	0.4
	69/69		1 - 2	0.4	1.5	7.5	14.0	25.0	33.5	15.5	1.0	0.1	1.5
	69/70	Worth Rhedense Zand, stuifzand drift sand	3 - 4	0.3	0.5	0.7	2.5	12.0	38.0	34.5	5.0	2.5	4.0
	69/71		3 - 4	0.1	0.1	0.7	2.5	10.0	32.0	32.0	6.5	6.0	10.1
	69/72	Coldenhove, stuifzand drift sand	5 - 5.5	1.9	2.5	6.0	12.0	21.5	34.0	18.0	1.5	0.7	1.9
	69/74	Hupkesbos, stuifzand drift sand	1 - 2	0.3	1.0	6.5	16.0	29.0	30.5	14.5	1.5	0.2	0.5
	69/75		1 - 2	-	0.3	2.0	7.0	26.0	42.5	20.0	0.9	0.1	1.2
14	72/ 1	Woeste Hoeve, stuifzand drift sand	6 - 6.5	(>420μm)		9.9	9.7	19.2	35.2	22.4	2.6	0.8	0.3
	72/ 2		6 - 6.5			13.0	10.2	18.8	33.1	21.6	2.5	0.7	0.3
	72/ 3		9 - 9.5			25.2	10.9	16.7	24.6	17.7	2.9	1.2	0.7
	72/ 4	Woeste Hoeve, dekzand cover sand	25 - 26			34.2	12.1	14.7	18.2	11.8	3.5	3.5	2.1
	72/ 5		25 - 26			7.6	12.9	23.7	35.1	17.5	1.9	0.8	0.5
	72/11	Terlet, stuifzand drift sand	2.5- 3.5			19.8	28.6	24.0	18.2	8.1	0.8	0.3	0.3
	72/10		3 - 4			9.3	21.2	31.6	26.6	10.5	0.8	0.2	0.1
	72/ 9		4.5- 5			53.8	16.8	12.1	10.0	6.2	0.8	0.3	0.1
	72/ 8		6 - 6.5			45.0	16.8	14.8	15.1	7.3	0.7	0.3	0.1
	72/32	oostelijk deel "Hoge Veluwe", stuifzand eastern part "Hoge Veluwe", drift sand	9 - 10			5.2	10.2	23.8	38.0	19.9	2.3	0.4	0.1
	72/31	oostelijk deel "Hoge Veluwe" dekzand eastern part "Hoge Veluwe" cover sand	24.5- 25.5			14.2	11.6	18.6	29.3	21.9	3.7	0.7	0.1
	72/30	oostelijk deel "Hoge Veluwe" preglaciaal materiaal eastern part "Hoge Veluwe" preglacial material	41.5- 42.5			12.2	6.0	18.5	34.5	24.1	3.4	1.0	0.2
	69/76	Stadsbos, stuifzand drift sand	5 - 5.5	0.2	2.0	10.5	19.5	28.0	27.0	10.0	0.7	0.2	1.9
	69/77		12 - 12.5	0.3	2.0	7.0	12.5	21.0	31.5	17.0	2.0	1.5	5.2
	69/79		10 - 11	1.1	2.5	6.5	12.0	23.0	32.5	18.5	2.0	0.8	1.1
	69/80		12 - 12.5	0.4	2.0	7.0	13.5	23.5	31.5	17.5	1.5	0.7	2.4
	69/78	Stadsbos, preglaciaal materiaal preglacial material	16 - 16.5	0.9	2.0	5.5	10.5	19.5	25.0	11.0	2.0	4.5	19.1
	69/81		16 - 16.5	0.3	0.4	1.0	2.0	9.0	49.0	28.5	2.5	1.5	5.8
	OOST VELUWE eastern Veluwe												
15	67/59	Spelderholt, stuifzand drift sand	9 - 11	0.8	3.0	6.5	12.0	22.0	37.0	17.0	1.5	0.2	-
	67/60		9 - 11	0.1	0.4	1.5	7.0	21.5	43.0	23.0	3.0	0.4	0.2
	67/61		9 - 11	0.1	0.8	3.5	8.5	20.0	40.5	23.0	3.5	0.4	0.1
	67/62		9 - 11	0.3	1.5	7.5	13.5	23.5	34.5	16.5	2.0	0.3	-
	67/63		9 - 11	0.5	0.6	1.0	3.5	14.0	43.5	31.5	5.0	0.5	0.1
	67/64		6 - 8	0.8	4.0	8.5	13.0	20.5	33.5	17.0	3.0	0.2	-
	67/65		9 - 11	1.7	4.5	8.5	13.0	22.5	31.5	15.0	2.0	0.3	-
	67/66		9 - 11	-	0.5	1.5	4.5	16.0	41.0	31.0	4.5	0.3	-
	67/67		9 - 11	0.6	4.0	9.0	12.5	19.5	31.5	19.0	3.5	0.5	0.1

	67/68		6 - 8	0.3	1.5	5.0	11.0	31.0	37.5	12.5	1.0	-	-
	67/69		6 - 8	0.6	3.0	7.5	14.0	25.0	31.0	16.0	2.0	0.1	-
	67/70		6 - 8	0.3	1.5	4.5	9.0	19.5	38.0	22.5	3.5	0.7	0.5
	67/71		9 - 11	0.8	3.0	6.5	11.0	21.5	32.5	20.0	4.5	0.6	-
	67/72		9 - 11	0.8	4.5	10.0	13.5	19.5	31.0	18.0	2.5	0.4	0.1
	67/75		6 - 8	0.2	0.9	2.5	6.5	17.0	38.0	28.0	4.5	0.9	0.5
	67/76		6 - 8	0.1	1.0	3.5	7.5	18.5	39.0	25.0	4.0	1.0	0.7
	67/77		9 - 11	0.4	0.9	1.5	3.5	9.5	39.5	35.0	12.0	5.0	3.0
	67/81		15 - 17	0.4	1.5	4.5	9.0	20.0	38.0	22.5	4.0	0.5	0.1
	67/82		5.5- 6.5	0.4	1.0	3.5	8.5	20.5	35.0	24.0	5.5	1.0	0.8
	67/83		5.5- 6.5	0.4	1.0	4.0	9.0	22.0	34.0	22.5	5.0	1.0	1.0
	67/84		9 - 11	0.8	3.0	5.5	9.5	20.5	37.5	20.0	2.5	0.4	0.2
	67/85		9 - 11	0.8	5.5	11.0	12.5	18.5	38.0	17.0	3.8	0.3	-
	67/86		3 - 4	0.1	0.2	0.8	4.5	18.0	44.5	27.5	4.0	0.5	0.1
	67/87		20 - 21	0.1	1.0	5.0	11.5	25.5	35.0	18.0	3.0	0.3	0.1
	67/88		11 - 12	0.9	3.5	8.5	13.5	21.0	31.5	17.0	3.5	0.6	0.1
16	67/51	Spelderholt, stuifzand, duintop drift sand, dune top	9 - 11	-	0.1	1.5	5.5	18.5	46.5	24.5	2.5	0.2	-
	67/52		9 - 11	-	0.8	6.0	12.0	25.0	35.5	18.0	2.0	-	-
	67/53		9 - 11	0.1	1.0	4.5	10.0	21.0	35.5	22.5	4.5	0.7	0.1
	67/54		14 - 16	0.6	1.5	5.0	9.0	18.0	33.5	26.5	5.0	0.7	0.1
	67/55		9 - 11	0.3	2.5	6.5	9.5	15.0	34.0	27.0	5.0	0.4	-
	67/56		9 - 11	1.0	3.0	6.5	11.0	22.0	32.5	20.0	3.5	0.3	0.1
	67/57		9 - 11	-	0.6	2.5	8.0	17.5	41.5	26.0	3.5	0.3	-
	67/58		9 - 11	-	0.2	1.5	4.5	17.5	45.5	27.0	3.0	0.2	-
17	67/73	Spelderholt, dekzand drift sand	10 - 11	1.2	3.0	6.5	11.5	20.0	33.5	19.0	3.5	1.0	1.0
	67/74		21 - 22	3.0	3.5	5.0	8.0	15.5	29.0	25.0	7.0	2.5	1.0
	67/78		22.5- 24	1.5	3.0	6.0	10.0	20.0	33.5	20.5	4.0	0.9	0.8
	67/79		29 - 30	1.3	3.0	7.0	11.5	19.0	34.5	19.5	3.5	0.8	0.2
	67/80		13 - 15	2.1	4.5	7.0	11.0	20.5	32.0	19.5	3.0	0.4	0.5
	67/89		10 - 11	1.3	3.5	7.0	11.5	20.0	34.0	17.5	3.5	1.0	1.0
	67/90		20 - 21	1.3	1.5	4.0	8.0	18.5	37.0	23.5	4.5	0.9	0.3
	67/91		22 - 24	1.1	3.0	6.0	10.0	20.5	33.0	20.0	4.0	0.8	1.0
	67/92		30 - 32	1.0	3.5	7.0	10.5	20.5	31.5	20.5	4.0	0.7	0.3
	67/93		4 - 5	0.8	1.5	4.5	8.0	17.0	35.5	24.5	5.5	1.5	1.5
	67/94		20 - 21	1.0	2.0	4.5	7.5	13.5	29.5	26.0	10.0	4.5	1.5
	67/95		4 - 5	0.7	2.0	4.5	8.5	17.5	35.0	24.5	4.5	1.5	1.0
	67/96		20 - 21	1.0	2.0	3.5	6.5	15.0	30.0	26.0	11.5	3.5	1.5
18	71/17	Ugchelse Bos, stuifzand drift sand	3 - 4	(>420μm)		6.0	11.0	16.0	39.0	23.0	4.0	0.6	1.0
	71/18		3 - 4			4.5	9.0	5.5	49.0	27.0	3.5	0.7	0.5
	71/19	Schansenberg, stuifzand drift sand	3 - 4			8.0	23.0	0.4	55.0	12.5	1.0	0.2	-
	72/20		3 - 4			5.0	9.5	0.5	50.5	27.5	4.0	1.5	1.5
	71/21	Schalterberg, stuifzand drift sand	3 - 4			1.5	6.5	8.5	48.5	28.5	3.0	0.8	3.0
	71/22		5 - 6			4.5	10.5	7.0	55.0	20.5	2.0	0.4	-
	71/23	Ramenberg, stuifzand drift sand	3 - 4			5.0	13.0	10.0	48.0	20.5	2.5	0.4	0.5
	71/24		3 - 4			11.0	14.0	5.0	41.0	23.5	4.0	0.9	0.5
	71/49	Wieselse Enk, stuifzand drift sand	3 - 4			4.5	11.0	22.0	38.0	16.5	2.0	0.8	5.0
	71/50		3 - 4			14.5	21.0	24.0	27.0	10.5	1.5	0.6	0.8
	NOORD VELUWE northern Veluwe												
19	67/39	Leuvenumse Bos, stuifzand drift sand	5 - 6	0.3	0.6	1.0	4.0	17.5	37.5	31.5	6.0	0.6	0.4
	67/40		4 - 6	0.4	1.0	3.0	6.0	17.5	33.5	33.5	4.5	0.5	0.1
	67/41		3 - 5	-	0.3	0.6	2.0	16.0	40.0	31.0	9.5	0.8	0.3
	67/42		3 - 5	0.1	0.2	0.5	1.5	9.5	33.5	43.5	9.0	1.5	0.5
	67/43		3 - 5	0.5	1.0	1.5	2.5	11.5	39.5	35.5	7.5	0.3	-
	67/44		4 - 6	2.0	2.5	4.5	8.5	19.5	29.5	23.5	8.0	1.5	0.3
	67/45		4 - 6	0.2	0.5	1.0	2.5	13.5	32.0	38.5	9.0	2.0	1.0
	67/46		4 - 6	0.1	0.3	1.0	4.0	16.0	36.5	33.0	9.0	0.5	0.1
	67/47		3 - 5	-	0.2	0.8	2.5	12.0	37.0	37.0	9.0	1.5	0.5
	67/48		3 - 5	0.1	0.5	1.0	3.0	10.0	27.0	42.0	13.0	2.5	1.0
	67/49		3 - 5	0.1	0.3	0.6	2.0	8.0	29.0	46.0	12.0	1.5	0.6
	67/50		3 - 5	-	0.5	1.0	4.5	14.5	35.0	37.0	6.5	0.8	0.2
	71/75	Beekhuizer Zand, stuifzand drift sand	3 - 4	(>420μm)		1.5	3.5	11.0	32.0	39.5	8.0	2.5	2.0
	71/76		3 - 4			2.0	3.0	11.0	36.5	38.0	7.5	1.5	0.1
20	67/33	Leuvenumse Bos, dekzand cover sand	13 - 15	0.2	0.3	1.0	4.0	12.5	25.0	26.0	13.0	6.5	11.0
	67/34		10 - 12	-	0.5	1.5	6.0	21.5	36.0	27.5	7.0	0.5	-
	67/35		5 - 6	0.1	0.4	1.0	3.5	15.0	33.0	33.0	12.0	1.5	0.5

	67/36		5 - 6	0.2	0.3	0.9	4.0	15.5	32.5	34.5	9.5	1.5	0.6
	67/37		9 - 10	0.5	0.5	1.0	3.0	15.5	35.5	38.5	5.0	0.3	0.1
	67/38		9 - 10	0.1	0.3	0.5	2.5	13.5	37.5	37.0	8.5	0.5	0.1
	NOORD OOST VELUWE northeastern Veluwe												
21	70/10	Mullegen, stuifzand drift sand	3 - 4	2.5	2.0	2.5	5.5	9.0	37.0	30.0	7.0	2.0	2.0
	70/13	De Zoom, stuifzand drift sand	3 - 4	-	0.1	0.3	2.5	7.5	41.5	38.0	7.0	1.5	1.5
	70/16		3 - 4	0.1	0.2	1.5	9.0	19.5	44.5	19.5	2.5	1.0	2.0
	70/27	Mullegen, stuifzand drift sand	10 - 11	-	0.3	1.0	7.0	20.0	41.5	25.0	3.5	0.6	1.0
	70/28		20 - 21	0.1	0.1	0.1	0.4	5.5	47.0	39.0	5.5	0.9	1.5
	71/73		3 - 4	(>420µm)		0.6	2.5	8.0	29.0	40.5	12.0	4.5	2.5
	71/74		3 - 4			0.9	3.0	8.5	29.0	40.0	13.5	5.0	0.2
22	70/ 7	't Loo, dekzand cover sand	3 - 4	1.1	1.5	2.5	6.5	18.5	22.5	19.5	5.5	4.5	18.0
	70/ 8		10 - 11	1.7	0.9	1.5	4.0	12.5	31.0	29.5	9.5	4.5	5.0
	70/ 9	Oldhorst, dekzand cover sand	11 - 12	-	-	0.5	4.5	18.5	46.5	25.0	3.0	0.6	1.5
	70/12	Wessinge, dekzand cover sand	10.5- 11.5	-	0.1	0.4	3.0	13.5	39.5	33.5	6.0	1.5	2.5
	70/14	De Zoom, dekzand cover sand	6.5- 7.5	2.3	0.5	0.6	2.5	5.0	37.0	37.5	9.0	3.5	2.0
	70/15		11 - 12	2.7	5.0	12.5	24.5	20.5	24.5	7.0	1.0	0.4	2.0
	70/17		5.5- 6.5	0.4	0.6	1.5	4.0	6.0	19.0	13.0	6.0	14.0	35.5
	70/21	Mullegen, dekzand cover sand	4 - 5	0.4	0.3	0.6	1.5	3.0	29.0	33.0	11.5	9.0	11.5
	70/22		9.5- 10.5	0.6	0.5	0.9	3.5	4.5	29.5	30.5	13.5	8.5	8.0
	70/ 1	't Loo, preglaciaal en fluvio-glaciaal materiaal preglacial and fluvio-glacial material	10 - 12	4.0	3.0	3.5	5.5	15.0	33.5	24.0	6.0	2.8	2.5
	70/ 2	Woldberg, preglaciaal en fluvio-glaciaal materiaal preglacial and fluvio-glacial materiaal	10 - 11	0.3	0.7	2.5	6.0	19.0	46.5	19.0	3.0	1.0	2.0
	70/ 3		5 - 6	4.5	11.0	22.0	25.0	21.0	11.0	2.5	0.5	0.3	2.0
	70/11	Mullegen, preglaciaal en fluvio-glaciaal materiaal preglacial and fluvio-glacial material	8 - 9	6.5	4.0	8.0	15.0	13.0	21.0	15.0	5.5	3.0	9.0
	70/18	De Zoom, preglaciaal en fluvio-glaciaal materiaal preglacial and fluvio-glacial material	10 - 11	1.1	2.5	8.0	24.0	22.0	27.0	10.0	3.0	1.0	1.5
	NOORD VELUWE northern Veluwe												
23	71/63	Elspeetse Heide, stuifzand drift sand	3 - 4	(>420µm)		5.5	9.0	15.0	41.0	27.0	2.0	0.3	0.1
	71/64		3 - 4			4.5	7.5	15.5	19.0	51.5	1.5	0.2	0.1
	71/65	Hendriksbos, stuifzand drift sand	3 - 4			0.7	3.0	10.0	32.5	36.5	11.5	5.5	0.3
	71/66		3 - 4			0.4	2.0	8.0	32.0	36.0	12.0	6.5	4.0
	71/67	Zandenbos, stuifzand drift sand	3 - 4			3.0	6.5	16.0	42.0	25.5	4.0	1.0	2.0
	71/68		3 - 4			1.5	5.5	17.0	41.5	27.0	4.5	1.5	1.5
	71/69	Doornspijkse Heide, stuifzand drift sand	3 - 4			0.8	1.5	5.5	26.5	44.0	14.0	7.0	0.3
	71/70		3 - 4			1.0	2.0	6.0	19.0	51.0	12.0	5.5	3.5
	71/71	Oldebroekse Heide, stuifzand drift sand	3 - 4			4.5	7.0	16.0	40.0	28.0	3.0	0.4	1.5
	71/72		3 - 4			7.0	8.0	15.5	32.0	27.5	6.0	2.0	2.0
	71/77	Vierhoutense Heide, stuifzand drift sand	3 - 4			1.0	3.0	9.5	34.5	37.5	7.0	3.0	4.0
	71/78		3 - 4			3.5	7.5	16.5	38.0	28.0	3.5	0.9	2.0
	72/ 6		3 - 4			13.7	13.6	25.0	30.4	14.6	1.8	0.7	0.2
	72/ 7		3 - 4			26.0	14.6	20.2	25.2	11.7	1.3	0.7	0.1
(24)	DIVERSEN miscellaneous												
	69/41	Mosselse Zand, stuifzand, deflatielaag drift sand, deflation layer	0 - 0.2	16.5	6.0	5.5	6.5	11.5	23.5	21.5	7.0	2.0	0.3
	69/61		0 - 0.2	3.0	3.5	6.5	11.5	18.0	26.5	21.5	5.5	2.5	1.5
	69/82		0 - 0.2	14.0	8.0	6.5	6.5	14.5	27.5	18.0	3.0	0.4	1.6
	69/83	Kootwijkerduinen, stuifzand, fijne laagjes drift sand, fine laminae	11 - 11.5	-	0.2	1.0	6.0	20.0	43.5	24.0	3.0	0.4	1.9
	69/ 4G	grove laagjes coarse laminae	7 - 9	10.0	4.0	4.0	6.5	13.5	31.0	23.5	4.5	1.5	1.5
	71/80	Kootwijker Zand, preglaciaal materiaal preglacial material	1 - 2	(>420µm)		24.0	20.0	12.0	13.0	16.5	6.5	3.5	4.5
	70/ 4	Welna, landduinafzetting (pseudo-osar) inland dune deposit (pseudo-osar)	9.5- 10.5	1.3	3.0	6.0	8.5	18.5	36.5	22.0	2.5	0.6	1.0
	70/ 5		10.0- 11.0	2.1	7.0	13.0	14.0	20.5	27.5	12.5	1.5	0.3	1.5
	70/ 6	Gortel, landduinafzetting (pseudo-osar) inland dune deposit (pseudo-osar)	6 - 7	0.3	2.0	7.5	13.0	24.5	33.5	15.0	2.0	0.6	1.5
	70/29	Mullegen, oud bouwlanddek "Plaggen soil"	30 - 31	0.2	0.5	1.0	5.5	8.0	45.0	25.0	3.5	2.0	9.0
	67/11	Otterlose Bos", "rood zand" "red sand"	2 - 3	0.5	1.5	3.5	7.5	18.0	38.5	21.0	3.5	1.5	4.0
	67/12		2 - 3	0.5	1.0	2.5	5.5	14.0	37.0	24.5	5.5	2.5	7.5

67/13		9 - 11	0.3	1.0	2.5	5.0	12.5	30.5	24.0	7.0	3.5	13.0
67/14		10 - 12	1.2	1.0	2.0	3.5	8.0	24.0	34.5	17.0	5.5	3.5
69/87	Leuvenumse Bos, "rood zand" "red sand"	1 - 2	0.3	0.1	0.3	1.5	7.0	30.5	39.0	12.0	4.0	5.3
77/ 1	Kruishaar (Gelderse Vallei), stuifzand drift sand	5 - 6	(>420µm)		0.3	1.5	8.0	34.0	37.0	10.5	5.5	3.0
77/ 2		5 - 6			1.5	4.0	13.0	40.0	30.5	7.0	2.5	2.0
77/ 3	Appelse Heide (Gelderse Vallei), stuifzand drift sand	5 - 6			1.0	4.5	16.5	43.0	26.5	5.0	1.5	1.5
77/ 4		5 - 6			3.5	6.0	15.5	37.0	31.0	5.0	1.5	1.0
77/ 5	Heerenloo, stuifzand drift sand	5 - 6			0.2	1.5	11.0	46.5	31.0	6.5	2.0	1.5
77/ 6		5 - 6			0.4	1.5	8.5	30.5	42.0	9.5	4.5	3.5
77/ 7	Uddel, stuifzand drift sand	5 - 6			3.5	13.0	29.0	35.5	14.0	2.0	1.0	2.0
77/ 8		5 - 6			3.0	12.5	29.0	36.5	15.0	2.0	0.9	1.5
77/ 9	Wiesel, stuifzand drift sand	5 - 6			9.5	13.5	23.0	30.0	14.5	2.5	2.0	4.0
77/10		5 - 6			6.5	12.5	24.0	31.5	15.0	3.0	2.5	5.0
77/11	Harskampse Zand, stuifzand drift sand	6 - 7			1.5	4.5	19.5	41.0	29.0	4.0	0.6	0.1
77/12		6 - 7			4.5	10.0	24.0	35.5	23.0	2.5	0.2	-
77/13		7 - 8			10.0	10.5	21.5	33.0	21.0	3.0	0.5	0.1
77/14		7 - 8			10.0	11.5	25.5	33.5	16.5	2.0	1.5	0.1
77/15		4 - 5			4.0	4.5	15.0	38.0	32.0	6.0	1.0	0.1
77/16		4 - 5			6.5	5.5	14.5	32.5	29.0	9.5	2.5	-

Appendix 3b: Toetsing van veronderstelde verschillen in afzonderlijke korrelgroottepercentielen en -parameters (Kolmogorov-Smirnov "two sample test")

Statistical testing of supposed differences in individual grainsize percentile values and graphical parameters

A tussen stuifzandgebieden, paragraaf 5.4.1
between sample groups, according to the regional distribution

B tussen onderdelen van het stuifzandreliëf, paragraaf 5.4.2
between sample groups, according to the height of deposition

C tussen stuifzanden en dekzanden, paragraaf 5.4.3
between sample groups, consisting of drift sands and cover sands

(hoofd)groep a (main)group	(hoofd)groep b (main)group	aantal gevallen a number of cases	aantal gevallen b number of cases	Kolmogorov-Smirnov Z	"(2-tailed)P"	variabele variable
A						
sub 2						
9	A-9	10	107	1.96	<0.01	Md
9	A-9	9	95	1.21	0.11	α1
9	E-9	10	204	2.09	<0.01	Md
9	E-9	9	177	1.30	0.07	α1
11	A-11	16	101	2.05	<0.01	Md
11	A-11	8	96	0.71	0.70	α1
11	E-11	16	198	2.46	0.00	Md
11	E-11	8	178	0.84	0.48	α1
12	A-12	4	113	1.42	0.04	Md
12	A-12	3	101	1.56	<0.01	α1
12	A-12	3	101	1.13	0.15	Kg
12	E-12	4	210	1.51	0.02	Md
12	E-12	3	183	1.63	0.01	α1
12	E-12	3	183	1.20	0.11	Kg
sub 3						
A	B	117	62	3.67	0.00	Md
A	B	104	51	2.15	<0.01	α1
B	C	62	35	3.11	0.00	Md
B	C	51	31	1.83	<0.01	α1
sub 4						
14	B-14	11	51	1.82	<0.01	Md
14	E-14	11	203	2.81	0.00	Md
18	B-18	6	45	2.16	<0.01	Kg
18	E-18	6	180	2.00	<0.01	Kg
sub 7						
A	B	117	61	3.79	0.00	QDa
A	B	104	51	3.38	0.00	SOs
B	C	61	34	2.95	0.00	QDa
B	C	51	31	2.87	0.00	SOs
sub 8						
12	A-12	4	113	0.93	0.35	QDa
12	A-12	3	101	1.34	0.05	SOs
12	E-12	4	208	1.10	0.18	QDa
12	E-12	3	183	1.48	0.02	SOs
14	B-14	10	51	1.58	0.01	QDa
14	B-14	4	47	1.45	0.03	SOs
14	E-14	10	202	2.50	0.00	QDa
14	E-14	4	182	1.82	<0.01	SOs
B						
sub 4						
2+6	4+5	20	19	1.49	0.02	QDa
2+6	4+5	19	19	1.45	0.03	SOs
2+6	4+5	20	19	2.09	<0.01	Ska
2+6	4+5	19	19	1.61	0.01	αs
sub 5						
2+6	7	20	10	0.66	0.77	Md
2+6	7	20	10	1.31	0.06	QDa
2+6	7	20	10	1.05	0.22	Ska
2+6	7	19	10	0.71	0.69	αs
C						
sub 1						
1	3	10	8	1.60	0.01	P_5
1	3	10	8	1.39	0.04	P_{95}
15	17	25	13	1.74	<0.01	P_5
15	17	25	13	1.72	<0.01	P_{95}
E	D	217	31	1.80	<0.01	P_5
E	D	204	36	1.78	<0.01	P_{95}
sub 2						
1	3	10	8	1.18	0.12	QDa
1	3	10	8	1.39	0.04	SOs
15	17	25	13	0.90	0.39	QDa
15	17	25	13	1.72	<0.01	SOs
E	D	222	35	1.55	0.01	QDa
E	D	196	31	2.28	0.00	SOs
sub 3						
1	3	10	8	1.18	0.12	αs
1	3	10	8	1.18	0.12	α1
15	17	25	13	1.72	<0.01	αs

15	17	25	13	2.65	0.00	αl
19	20	14	5	0.82	0.51	αs
19	20	14	5	1.07	0.20	αl
E	D	196	31	2.09	<0.01	αs
E	D	196	31	2.15	<0.01	αl
sub 4						
1	3	10	8	1.39	0.04	Kg
15	17	25	13	2.42	0.00	Kg
E	D	196	31	2.42	0.00	Kg

Appendix 4: Hoeveelheden gekleurde korrels in de fraktie 150-210 μm in ^{o}/oo waarden
Amounts of coloured grains in the fraction 150-210 μm in ^{o}/oo values

monster nummer sample number	lokatie en materiaal location and material	rood red	zwart black	groen green	wit white
67/2	Otterlose Bos, stuifzand drift sand	2.5	1.5	1	13
67/3		1	2	-	16
67/7		3.5	0.5	1.5	14
67/8		2	1	1	14
67/25		1	1.5	-	12
67/28		4	2	2	21
67/29		3.5	1	1.5	17
67/30		2.5	1	2.5	14
69/1	Otterlose Bos, stuifzand drift sand basis loefzijde randwalduin stoss-side base bordering dune ridge	2.5	1	3	12
69/2		3	1.5	1.5	12
69/3		3.5	1.5	1	13
69/4		4	1	1	14
69/5		2.5	1	1	15
69/6		3	1.5	1.5	15
69/7		3.5	0.5	1.5	17
69/8		3.5	1	1	21
69/9		3.5	1	0.5	12
69/10		1.5	1	1	16
69/11	Otterlose Bos, stuifzand drift sand halverwege loefzijde randwalduin stoss-side half way up bordering dune ridge	3.5	1	0.5	10
69/12		3.5	1.5	1	14
69/13		2	1.5	1.5	15
69/14		3.5	0.5	1	17
69/15		3.5	1	1	17
69/16		2.5	1.5	1	16
69/17		2.5	0.5	1	14
69/18		3	1	2	16
69/19		2	1	2	15
69/20		2	1	2	14
69/21	Otterlose Bos, stuifzand drift sand top randwalduin top bordering dune ridge	2.5	1	1	14
69/22		2.5	1.5	1.5	16
69/23		1.5	0.5	-	7
69/24		2.5	1	1	11
69/25		1.5	1.5	0.5	8
69/26		1.5	0.5	0.5	12
69/27		2	1.5	1	11
69/28		3.5	-	1	18
69/29		3	1	1	11
69/30		2	0.5	2	18
69/31	Otterlose Bos, stuifzand drift sand lijzijde randwalduin lee-side bordering dune ridge	2.5	2	2	12
69/32		2	1	1	15
69/33		2	1	1	10
69/34		1.5	1	0.5	13
69/35		2	0.5	0.5	16
69/36		3	0.5	1.5	17
69/37		2.5	1	0.5	21
69/38		1	1	1	12
69/39		2	-	1.5	16
69/40		2.5	1.5	1.5	8
69/61	Otterlose Bos, stuifzand drift sand	4.5	2	2.5	17
69/41	Mosselse Zand, stuifzand drift sand	1.5	2	1.5	8
69/42		1.5	1.5	-	9
69/43		1.5	1	1	8
69/44		2	2	0.5	11
69/45		1.5	1.5	0.5	12
69/46		1.5	1	0.5	8
69/47		3	1.5	1	20
69/48		2.5	1	0.5	14
69/49		2	1.5	1	10
69/50		2	1.5	1	18
69/51	Franse Berg, stuifzand drift sand	3	1.5	2	19
69/52		1	1	0.5	10
69/53		1.5	0.5	1	9
69/54		3	1	1	18
69/55		2	1.5	1	12
69/56		1.5	1.5	0.5	13
69/57		1.5	2	-	10
69/58		2.5	1.5	2	14
69/59		3.5	1	1.5	15
69/60		2	1	0.5	10
69/85	Ruimzicht, stuifzand drift sand	1.5	1.5	1	14
69/86		2	1.5	1.5	15
71/27	Doesburgerbuurt, stuifzand drift sand	2	1	0.5	12
71/28		2	1	0.5	15
71/33	Roekelse Bos, stuifzand drift sand	2	1	1	8
71/34		2	1	-	8
71/51	Harskampse Zand, stuifzand drift sand	2	0.5	0.5	12
71/52		3	1	0.5	10
69/82	Kootwijkerduinen, stuifzand drift sand	2	1	0.5	12
69/83		2.5	2	0.5	12
69/84	Kootwijkerduinen, dekzand cover sand	2.5	1.5	2.5	14
69/4G	Kootwijkerduinen, stuifzand drift sand	2	1	-	12
69/62	Stroese Zand, stuifzand drift sand	1.5	1	-	21
69/63		2	1	-	22
69/64		1	1	0.5	28
69/65	Stroese Zand, dekzand cover sand	1.5	1.5	1	17
69/66	Stroese Zand, preglaciaal materiaal preglacial material	1.5	1	2	15
69/1C	Stroese Zand, stuifzand drift sand	1.5	1.5	-	20
69/2C		1.5	1	0.5	20
69/3C		2	1.5	0.5	18
69/4C		1.5	1	-	15
69/5C		1	-	-	10
67/54	Spelderholt, stuifzand drift sand	4	2	2	14
67/55		2.5	1	1	12
67/56		4	1	1.5	12
67/65		3	1.5	1.5	18
67/66		3	-	1.5	10
67/67		2.5	1	1.5	13
71/19	Schansenberg, stuifzand drift sand	2	1.5	-	12
71/20		1	1	0.5	15
71/21	Schalterberg, stuifzand drift sand	2	1	-	20
71/22		1	1	-	10
71/23	Ramenberg, stuifzand drift sand	1.5	1.5	0.5	12
71/24		2	1	0.5	12
69/67	Rozendaalse Zand, stuifzand drift sand	3	1	1.5	14
69/68		3	2	2	16
69/69	Rozendaalse Zand, stuifzand drift sand	3	1.5	1	16
69/70	Worth Rhedense Zand, stuifzand drift sand	4	2	0.5	17
79/71		3	2	0.5	17
69/72	Coldenhove, stuifzand drift sand	3	1	1	19
69/73	Coldenhove, dekzand cover sand	2	1.5	1	13

69/74	Hupkesbos, stuifzand drift sand	3.5	1.5	1	12
69/75		4	2	0.5	13
69/76	Stadsbos, stuifzand drift sand	2.5	1	1.5	15
69/77		2.5	1.5	1	16
69/78	Stadsbos, preglaciaal materiaal preglacial material	3	1	0.5	14
69/79	Stadsbos, stuifzand drift sand	4.5	2	1.5	12
69/80		3.5	0.5	0.5	13
69/81	Stadsbos, preglaciaal materiaal preglacial material	3.5	2.5	1	17
67/40	Leuvenumse Bos, stuifzand drift sand	2	0.5	1	10
67/41		1.5	1	0.5	15
67/42		2.5	0.5	0.5	12
67/43		2.5	1	1	12
67/47		3	0.5	1	8
67/48		2	1	1	17
69/49		3	1	0.5	13
69/87	Stadsbos, "rood zand" "red sand"	6	1.5	0.5	15
70/ 1	't Loo, fluvio-glaciaal materiaal, fluvio-glacial material	1	1	-	12
70/2	Woldberg, preglaciaal materiaal preglacial material	1	2.5	-	8
70/3		2	2	0.5	15
70/4	Welna, dekzand cover sand	1	1.5	0.5	12
70/5		2.5	2	-	20
70/6	Gortelse Berg, dekzand cover sand	1.5	1	0.5	10
70/7	't Loo, dekzand cover sand	0.5	0.5	-	8
70/8	Engeland, dekzand cover sand	1	1	-	10
70/9	Oldhorst, dekzand cover sand	1.5	0.5	0.5	10
70/10	Mullegen, stuifzand drift sand	1	1	-	10
70/11	Mullegen, fluvio-glaciaal materiaal, fluvio-glacial material	2	2	-	15
70/12	Weesinge, dekzand cover sand	1	0.5	-	20
70/13	De Zoom, stuifzand drift sand	1	0.5	-	10
70/14	De Zoom, dekzand cover sand	1	-	-	10
70/15		1	1	-	20
70/16	De Zoom, stuifzand drift sand	1	1	-	8
70/17	De Zoom, dekzand cover sand	1	0.5	0.5	10
70/18	De Zoom, fluvio-glaciaal materiaal, fluvio-glacial material	1	1	-	12
70/21	Mullegen, dekzand cover sand	0.5	1	-	12
70/22		0.5	-	-	10
70/27	Mullegen, stuifzand drift sand	2	0.5	-	12
70/28		1	0.5	-	12
70/29	Mullegen, dekzand cover sand	0.5	0.5	-	10

Appendix 5: Gewichtspercentages zware mineralen van enkele korrelgroottefrakties

Weight percentages of heavy minerals of several grainsize fractions

Groep 1 - Noord-Veluwse stuifzanden
2 - Midden-Veluwse stuifzanden
3 - Oost-Veluwse stuifzanden
4 - stuifzandprofiel Stroese Zand
5 - stuifzandprofiel Terlet
6 - Veluwse dekzanden

Group 1 - drift sands of the northern Veluwe
2 - " " " " central "
3 - " " " " eastern "
4 - drift sand profile
5 - " " "
6 - cover sands of the Veluwe

monster nummer sample number	lokatie location	500-50 µm	500-210 µm	210-150 µm	150-105 µm	105-50 µm
1						
70/27	Mullegen	0.34	0.02	0.07	0.46	1.69
70/28		0.11	0.03	0.04	0.16	0.33
70/10		0.74	0.05	0.13	0.79	2.60
70/13	De Zoom	0.25	0.03	0.08	0.26	0.82
70/16		0.26	0.05	0.07	0.40	1.12
71/49	Wieselse Enk	0.25	0.05	0.20	0.65	1.32
71/50		0.25	0.07	0.26	0.86	0.79
71/65	Hendriksbos	0.44	0.03	0.14	0.47	1.26
71/66		0.49	0.03	0.14	0.51	1.40
71/67	Zandenbos	0.19	0.02	0.10	0.24	1.19
71/68		0.22	0.02	0.07	0.35	1.18
72/6	Vierhoutense Heide	0.23	0.09	0.17	0.28	2.05
72/7		0.18	0.07	0.16	0.41	1.93
77/17	Leuvenumse Bos				0.32	0.66
77/18					0.26	2.92
77/19					0.24	0.41
77/20					0.15	0.50
77/21					0.30	1.25
2						
71/29	Wekeromse Zand	0.56	0.02	0.13	0.46	1.44
71/30		0.70	0.04	0.13	0.71	2.68
71/31		0.60	0.03	0.14	0.58	2.27
71/32		0.70	0.05	0.20	0.82	3.38
71/53	Otterlose Zand	0.58	0.05	0.18	0.66	2.39
71/54		0.47	0.05	0.19	0.77	3.23
71/55		0.38	0.04	0.20	0.70	2.07
71/56		0.26	0.04	0.11	0.50	1.23
69/4G	Kootwijkerduinen	1.09	0.08	0.26	0.92	4.84
71/35	Kootwijkse Bos	0.83	0.04	0.23	0.99	3.67
71/36		0.71	0.05	0.14	0.72	3.11
71/37		0.56	0.04	0.18	0.68	2.30
71/38		0.55	0.03	0.15	0.64	1.96
71/12	Kootwijkse Zand	0.16	0.06	0.12	0.61	3.07
72/32	De Hoge Veluwe	0.33	0.07	0.21	0.75	3.39
3						
72/1	Woeste Hoeve	0.15	0.14	0.29	0.98	4.05
72/2		0.36	0.10	0.27	0.73	3.90
72/3		0.54	0.12	0.32	0.17	5.74
71/19	Schansenberg	0.19	0.05	0.20	0.76	2.67
71/20		0.34	0.05	0.16	0.61	1.78
71/21	Schalterberg	0.34	0.04	0.14	0.78	2.50
71/22		0.28	0.05	0.18	0.71	2.51
77/34	Coldenhove				0.88	3.95
77/35					1.09	4.45
77/36					1.18	3.18
77/37					1.17	3.99
77/47	Hupkesbos				1.10	6.20
77/48					1.32	3.43
77/49					1.21	6.23
77/50					1.27	6.22
4						
69/1C	Stroese Zand	0.35	0.06	0.11	0.36	0.70
69/2C		0.49	0.07	0.12	0.26	1.12
69/3C		0.36	0.03	0.10	0.27	0.94
69/4C		0.54	0.04	0.10	0.44	1.59
69/5C		0.32	0.04	0.14	0.51	0.61
5						
72/11	Terlet	0.11	0.03	0.11	0.43	1.20
72/10		0.08	0.03	0.12	0.34	1.32
72/9		0.08	0.05	0.18	0.49	1.57
72/8		0.17	0.06	0.17	0.43	1.32
6						
70/21	Mullegen	0.51	0.05	0.12	0.41	1.18
70/22		1.32	0.10	0.11	1.25	3.08
70/12	Wessinge	0.24	0.02	0.11	0.25	0.88
70/14	De Zoom	0.29	0.03	0.05	0.24	1.08
70/15		0.48	0.05	0.33	1.01	1.91
70/17		0.19	0.03	0.11	0.42	0.20

	67/36		5 - 6	0.2	0.3	0.9	4.0	15.5	32.5	34.5	9.5	1.5	0.6
	67/37		9 - 10	0.5	0.5	1.0	3.0	15.5	35.5	38.5	5.0	0.3	0.1
	67/38		9 - 10	0.1	0.3	0.5	2.5	13.5	37.5	37.0	8.5	0.5	0.1
	NOORD OOST VELUWE northeastern Veluwe												
21	70/10	Mullegen, stuifzand drift sand	3 - 4	2.5	2.0	2.5	5.5	9.0	37.0	30.0	7.0	2.0	2.0
	70/13	De Zoom, stuifzand drift sand	3 - 4	-	0.1	0.3	2.5	7.5	41.5	38.0	7.0	1.5	1.5
	70/16		3 - 4	0.1	0.2	1.5	9.0	19.5	44.5	19.5	2.5	1.0	2.0
	70/27	Mullegen, stuifzand drift sand	10 - 11	-	0.3	1.0	7.0	20.0	41.5	25.0	3.5	0.6	1.0
	70/28		20 - 21	0.1	0.1	0.1	0.4	5.5	47.0	39.0	5.5	0.9	1.5
	71/73		3 - 4	(>420µm)		0.6	2.5	8.0	29.0	40.5	12.0	4.5	2.5
	71/74		3 - 4			0.9	3.0	8.5	29.0	40.0	13.5	5.0	0.2
22	70/ 7	't Loo, dekzand cover sand	3 - 4	1.1	1.5	2.5	6.5	18.5	22.5	19.5	5.5	4.5	18.0
	70/ 8		10 - 11	1.7	0.9	1.5	4.0	12.5	31.0	29.5	9.5	4.5	5.0
	70/ 9	Oldhorst, dekzand cover sand	11 - 12	-	-	0.5	4.5	18.5	46.5	25.0	3.0	0.6	1.5
	70/12	Wessinge, dekzand cover sand	10.5- 11.5	-	0.1	0.4	3.0	13.5	39.5	33.5	6.0	1.5	2.5
	70/14	De Zoom, dekzand cover sand	6.5- 7.5	2.3	0.5	0.6	2.5	5.0	37.0	37.5	9.0	3.5	2.0
	70/15		11 - 12	2.7	5.0	12.5	24.5	20.5	24.5	7.0	1.0	0.4	2.0
	70/17		5.5- 6.5	0.4	0.6	1.5	4.0	6.0	19.0	13.0	6.0	14.0	35.5
	70/21	Mullegen, dekzand cover sand	4 - 5	0.4	0.3	0.6	1.5	3.0	29.0	33.0	11.5	9.0	11.5
	70/22		9.5- 10.5	0.6	0.5	0.9	3.5	4.5	29.5	30.5	13.5	8.5	8.0
	70/ 1	't Loo, preglaciaal en fluvio-glaciaal materiaal preglacial and fluvio-glacial material	10 - 12	4.0	3.0	3.5	5.5	15.0	33.5	24.0	6.0	2.8	2.5
	70/ 2	Woldberg, preglaciaal en fluvio-glaciaal materiaal preglacial and fluvio-glacial materiaal	10 - 11	0.3	0.7	2.5	6.0	19.0	46.5	19.0	3.0	1.0	2.0
	70/ 3		5 - 6	4.5	11.0	22.0	25.0	21.0	11.0	2.5	0.5	0.3	2.0
	70/11	Mullegen, preglaciaal en fluvio-glaciaal materiaal preglacial and fluvio-glacial material	8 - 9	6.5	4.0	8.0	15.0	13.0	21.0	15.0	5.5	3.0	9.0
	70/18	De Zoom, preglaciaal en fluvio-glaciaal materiaal preglacial and fluvio-glacial material	10 - 11	1.1	2.5	8.0	24.0	22.0	27.0	10.0	3.0	1.0	1.5
	NOORD VELUWE northern Veluwe												
23	71/63	Elspeetse Heide, stuifzand drift sand	3 - 4	(>420µm)		5.5	9.0	15.0	41.0	27.0	2.0	0.3	0.1
	71/64		3 - 4			4.5	7.5	15.5	19.0	51.5	1.5	0.2	0.1
	71/65	Hendriksbos, stuifzand drift sand	3 - 4			0.7	3.0	10.0	32.5	36.5	11.5	5.5	0.3
	71/66		3 - 4			0.4	2.0	8.0	32.0	36.0	12.0	6.5	4.0
	71/67	Zandenbos, stuifzand drift sand	3 - 4			3.0	6.5	16.0	42.0	25.5	4.0	1.0	2.0
	71/68		3 - 4			1.5	5.5	17.0	41.5	27.0	4.5	1.5	1.5
	71/69	Doornspijkse Heide, stuifzand drift sand	3 - 4			0.8	1.5	5.5	26.5	44.0	14.0	7.0	0.3
	71/70		3 - 4			1.0	2.0	6.0	19.0	51.0	12.0	5.5	3.5
	71/71	Oldebroekse Heide, stuifzand drift sand	3 - 4			4.5	7.0	16.0	40.0	28.0	3.0	0.4	1.5
	71/72		3 - 4			7.0	8.0	15.5	32.0	27.5	6.0	2.0	2.0
	71/77	Vierhoutense Heide, stuifzand drift sand	3 - 4			1.0	3.0	9.5	34.5	37.5	7.0	3.0	4.0
	71/78		3 - 4			3.5	7.5	16.5	38.0	28.0	3.5	0.9	2.0
	72/ 6		3 - 4			13.7	13.6	25.0	30.4	14.6	1.8	0.7	0.2
	72/ 7		3 - 4			26.0	14.6	20.2	25.2	11.7	1.3	0.7	0.1
(24)	DIVERSEN miscellaneous												
	69/41	Mosselse Zand, stuifzand, deflatielaag drift sand, deflation layer	0 - 0.2	16.5	6.0	5.5	6.5	11.5	23.5	21.5	7.0	2.0	0.3
	69/61		0 - 0.2	3.0	3.5	6.5	11.5	18.0	26.5	21.5	5.5	2.5	1.5
	69/82		0 - 0.2	14.0	8.0	6.5	6.5	14.5	27.5	18.0	3.0	0.4	1.6
	69/83	Kootwijkerduinen, stuifzand, fijne laagjes drift sand, fine laminae	11 - 11.5	-	0.2	1.0	6.0	20.0	43.5	24.0	3.0	0.4	1.9
	69/ 4G	grove laagjes coarse laminae	7 - 9	10.0	4.0	4.0	6.5	13.5	31.0	23.5	4.5	1.5	1.5
	71/80	Kootwijker Zand, preglaciaal materiaal preglacial material	1 - 2	(>420µm)		24.0	20.0	12.0	13.0	16.5	6.5	3.5	4.5
	70/ 4	Welna, landduinafzetting (pseudo-osar) inland dune deposit (pseudo-osar)	9.5- 10.5	1.3	3.0	6.0	8.5	18.5	36.5	22.0	2.5	0.6	1.0
	70/ 5		10.0- 11.0	2.1	7.0	13.0	14.0	20.5	27.5	12.5	1.5	0.3	1.5
	70/ 6	Gortel, landduinafzetting (pseudo-osar) inland dune deposit (pseudo-osar)	6 - 7	0.3	2.0	7.5	13.0	24.5	33.5	15.0	2.0	0.6	1.5
	70/29	Mullegen, oud bouwlanddek "Plaggen soil"	30 - 31	0.2	0.5	1.0	5.5	8.0	45.0	25.0	3.5	2.0	9.0
	67/11	Otterlose Bos", "rood zand" "red sand"	2 - 3	0.5	1.5	3.5	7.5	18.0	38.5	21.0	3.5	1.5	4.0
	67/12		2 - 3	0.5	1.0	2.5	5.5	14.0	37.0	24.5	5.5	2.5	7.5

67/13		9 - 11	0.3	1.0	2.5	5.0	12.5	30.5	24.0	7.0	3.5	13.0
67/14		10 - 12	1.2	1.0	2.0	3.5	8.0	24.0	34.5	17.0	5.5	3.5
69/87	Leuvenumse Bos, "rood zand" "red sand"	1 - 2	0.3	0.1	0.3	1.5	7.0	30.5	39.0	12.0	4.0	5.3
77/ 1	Kruishaar (Gelderse Vallei), stuifzand drift sand	5 - 6	(>420μm)		0.3	1.5	8.0	34.0	37.0	10.5	5.5	3.0
77/ 2		5 - 6			1.5	4.0	13.0	40.0	30.5	7.0	2.5	2.0
77/ 3	Appelse Heide (Gelderse Vallei), stuifzand drift sand	5 - 6			1.0	4.5	16.5	43.0	26.5	5.0	1.5	1.5
77/ 4		5 - 6			3.5	6.0	15.5	37.0	31.0	5.0	1.5	1.0
77/ 5	Heerenloo, stuifzand drift sand	5 - 6			0.2	1.5	11.0	46.5	31.0	6.5	2.0	1.5
77/ 6		5 - 6			0.4	1.5	8.5	30.5	42.0	9.5	4.5	3.5
77/ 7	Uddel, stuifzand drift sand	5 - 6			3.5	13.0	29.0	35.5	14.0	2.0	1.0	2.0
77/ 8		5 - 6			3.0	12.5	29.0	36.5	15.0	2.0	0.9	1.5
77/ 9	Wiesel, stuifzand drift sand	5 - 6			9.5	13.5	23.0	30.0	14.5	2.5	2.0	4.0
77/10		5 - 6			6.5	12.5	24.0	31.5	15.0	3.0	2.5	5.0
77/11	Harskampse Zand, stuifzand drift sand	6 - 7			1.5	4.5	19.5	41.0	29.0	4.0	0.6	0.1
77/12		6 - 7			4.5	10.0	24.0	35.5	23.0	2.5	0.2	-
77/13		7 - 8			10.0	10.5	21.5	33.0	21.0	3.0	0.5	0.1
77/14		7 - 8			10.0	11.5	25.5	33.5	16.5	2.0	1.5	0.1
77/15		4 - 5			4.0	4.5	15.0	38.0	32.0	6.0	1.0	0.1
77/16		4 - 5			6.5	5.5	14.5	32.5	29.0	9.5	2.5	-

Appendix 3b: Toetsing van veronderstelde verschillen in afzonderlijke korrelgroottepercentielen en -parameters (Kolmogorov-Smirnov "two sample test")

Statistical testing of supposed differences in individual grainsize percentile values and graphical parameters

A tussen stuifzandgebieden, paragraaf 5.4.1
between sample groups, according to the regional distribution

B tussen onderdelen van het stuifzandreliëf, paragraaf 5.4.2
between sample groups, according to the height of deposition

C tussen stuifzanden en dekzanden, paragraaf 5.4.3
between sample groups, consisting of drift sands and cover sands

(hoofd)groep a (main)group	(hoofd)groep b (main)group	aantal gevallen a number of cases	aantal gevallen b number of cases	Kolmogorov-Smirnov Z	"(2-tailed)p"	variabele variable
A						
sub 2						
9	A-9	10	107	1.96	<0.01	Md
9	A-9	9	95	1.21	0.11	α1
9	E-9	10	204	2.09	<0.01	Md
9	E-9	9	177	1.30	0.07	α1
11	A-11	16	101	2.05	<0.01	Md
11	A-11	8	96	0.71	0.70	α1
11	E-11	16	198	2.46	0.00	Md
11	E-11	8	178	0.84	0.48	α1
12	A-12	4	113	1.42	0.04	Md
12	A-12	3	101	1.56	<0.01	α1
12	A-12	3	101	1.13	0.15	Kg
12	E-12	4	210	1.51	0.02	Md
12	E-12	3	183	1.63	0.01	α1
12	E-12	3	183	1.20	0.11	Kg
sub 3						
A	B	117	62	3.67	0.00	Md
A	B	104	51	2.15	<0.01	α1
B	C	62	35	3.11	0.00	Md
B	C	51	31	1.83	<0.01	α1
sub 4						
14	B-14	11	51	1.82	<0.01	Md
14	E-14	11	203	2.81	0.00	Md
18	B-18	6	45	2.16	<0.01	Kg
18	E-18	6	180	2.00	<0.01	Kg
sub 7						
A	B	117	61	3.79	0.00	QDa
A	B	104	51	3.38	0.00	SOs
B	C	61	34	2.95	0.00	QDa
B	C	51	31	2.87	0.00	SOs
sub 8						
12	A-12	4	113	0.93	0.35	QDa
12	A-12	3	101	1.34	0.05	SOs
12	E-12	4	208	1.10	0.18	QDa
12	E-12	3	183	1.48	0.02	SOs
14	B-14	10	51	1.58	0.01	QDa
14	B-14	4	47	1.45	0.03	SOs
14	E-14	10	202	2.50	0.00	QDa
14	E-14	4	182	1.82	<0.01	SOs
B						
sub 4						
2+6	4+5	20	19	1.49	0.02	QDa
2+6	4+5	19	19	1.45	0.03	SOs
2+6	4+5	20	19	2.09	<0.01	Ska
2+6	4+5	19	19	1.61	0.01	αs
sub 5						
2+6	7	20	10	0.66	0.77	Md
2+6	7	20	10	1.31	0.06	QDa
2+6	7	20	10	1.05	0.22	Ska
2+6	7	19	10	0.71	0.69	αs
C						
sub 1						
1	3	10	8	1.60	0.01	P_5
1	3	10	8	1.39	0.04	P_{95}
15	17	25	13	1.74	<0.01	P_5
15	17	25	13	1.72	<0.01	P_{95}
E	D	217	31	1.80	<0.01	P_5
E	D	204	36	1.78	<0.01	P_{95}
sub 2						
1	3	10	8	1.18	0.12	QDa
1	3	10	8	1.39	0.04	SOs
15	17	25	13	0.90	0.39	QDa
15	17	25	13	1.72	<0.01	SOs
E	D	222	35	1.55	0.01	QDa
E	D	196	31	2.28	0.00	SOs
sub 3						
1	3	10	8	1.18	0.12	αs
1	3	10	8	1.18	0.12	α1
15	17	25	13	1.72	<0.01	αs

15	17	25	13	2.65	0.00	αl
19	20	14	5	0.82	0.51	αs
19	20	14	5	1.07	0.20	αl
E	D	196	31	2.09	<0.01	αs
E	D	196	31	2.15	<0.01	αl
sub 4						
1	3	10	8	1.39	0.04	Kg
15	17	25	13	2.42	0.00	Kg
E	D	196	31	2.42	0.00	Kg

Appendix 4: Hoeveelheden gekleurde korrels in de fraktie 150-210 µm in ‰ waarden

Amounts of coloured grains in the fraction 150-210 µm in ‰ values

monster nummer sample number	lokatie en materiaal location and material	rood red	zwart black	groen green	wit white
67/2	Otterlose Bos, stuifzand drift sand	2.5	1.5	1	13
67/3		1	2	-	16
67/7		3.5	0.5	1.5	14
67/8		2	1	1	14
67/25		1	1.5	-	12
67/28		4	2	2	21
67/29		3.5	1	1.5	17
67/30		2.5	1	2.5	14
69/1	Otterlose Bos, stuifzand drift sand basis loefzijde randwalduin stoss-side base bordering dune ridge	2.5	1	3	12
69/2		3	1.5	1.5	12
69/3		3.5	1.5	1	13
69/4		4	1	1	14
69/5		2.5	1	1	15
69/6		3	1.5	1.5	15
69/7		3.5	0.5	1.5	17
69/8		3.5	1	1	21
69/9		3.5	1	0.5	12
69/10		1.5	1	1	16
69/11	Otterlose Bos, stuifzand drift sand halverwege loefzijde randwalduin stoss-side half way up bordering dune ridge	3.5	1	0.5	10
69/12		3.5	1.5	1	14
69/13		2	1.5	1.5	15
69/14		3.5	0.5	1	17
69/15		3.5	1	1	17
69/16		2.5	1.5	1	16
69/17		2.5	0.5	1	14
69/18		3	1	2	16
69/19		2	1	2	15
69/20		2	1	2	14
69/21	Otterlose Bos, stuifzand drift sand top randwalduin top bordering dune ridge	2.5	1	1	14
69/22		2.5	1.5	1.5	16
69/23		1.5	0.5	-	7
69/24		2.5	1	1	11
69/25		1.5	1.5	0.5	8
69/26		1.5	0.5	0.5	12
69/27		2	1.5	1	11
69/28		3.5	-	1	18
69/29		3	1	1	11
69/30		2	0.5	2	18
69/31	Otterlose Bos, stuifzand drift sand lijzijde randwalduin lee-side bordering dune ridge	2.5	2	2	12
69/32		2	1	1	15
69/33		2	1	1	10
69/34		1.5	1	0.5	13
69/35		2	0.5	0.5	16
69/36		3	0.5	1.5	17
69/37		2.5	1	0.5	21
69/38		1	1	1	12
69/39		2	-	1.5	16
69/40		2.5	1.5	1.5	8
69/61	Otterlose Bos, stuifzand drift sand	4.5	2	2.5	17
69/41	Mosselse Zand, stuifzand drift sand	1.5	2	1.5	8
69/42		1.5	1.5	-	9
69/43		1.5	1	1	8
69/44		2	2	0.5	11
69/45		1.5	1.5	0.5	12
69/46		1.5	1	0.5	8
69/47		3	1.5	1	20
69/48		2.5	1	0.5	14
69/49		2	1.5	1	10
69/50		2	1.5	1	18
69/51	Franse Berg, stuifzand drift sand	3	1.5	2	19
69/52		1	1	0.5	10
69/53		1.5	0.5	1	9
69/54		3	1	1	18
69/55		2	1.5	1	12
69/56		1.5	1.5	0.5	13
69/57		1.5	2	-	10
69/58		2.5	1.5	2	14
69/59		3.5	1	1.5	15
69/60		2	1	0.5	10
69/85	Ruimzicht, stuifzand drift sand	1.5	1.5	1	14
69/86		2	1.5	1.5	15
71/27	Doesburgerbuurt, stuifzand drift sand	2	1	0.5	12
71/28		2	1	0.5	15
71/33	Roekelse Bos, stuifzand drift sand	2	1	1	8
71/34		2	1	-	8
71/51	Harskampse Zand, stuifzand drift sand	2	0.5	0.5	12
71/52		3	1	0.5	10
69/82	Kootwijkerduinen, stuifzand drift sand	2	1	0.5	12
69/83		2.5	2	0.5	12
69/84	Kootwijkerduinen, dekzand cover sand	2.5	1.5	2.5	14
69/4G	Kootwijkerduinen, stuifzand drift sand	2	1	-	12
69/62	Stroese Zand, stuifzand drift sand	1.5	1	-	21
69/63		2	1	-	22
69/64		1	1	0.5	28
69/65	Stroese Zand, dekzand cover sand	1.5	1.5	1	17
69/66	Stroese Zand, preglaciaal materiaal preglacial material	1.5	1	2	15
69/1C	Stroese Zand, stuifzand drift sand	1.5	1.5	-	20
69/2C		1.5	1	0.5	20
69/3C		2	1.5	0.5	18
69/4C		1.5	1	-	15
69/5C		1	-	-	10
67/54	Spelderholt, stuifzand drift sand	4	2	2	14
67/55		2.5	1	1	12
67/56		4	1	1.5	12
67/65		3	1.5	1.5	18
67/66		3	-	1.5	10
67/67		2.5	1	1.5	13
71/19	Schansenberg, stuifzand drift sand	2	1.5	-	12
71/20		1	1	0.5	15
71/21	Schalterberg, stuifzand drift sand	2	1	-	20
71/22		1	1	-	10
71/23	Ramenberg, stuifzand drift sand	1.5	1.5	0.5	12
71/24		2	1	0.5	12
69/67	Rozendaalse Zand, stuifzand drift sand	3	1	1.5	14
69/68		3	2	2	16
69/69	Rozendaalse Zand, stuifzand drift sand	3	1.5	1	16
69/70	Worth Rhedense Zand, stuifzand drift sand	4	2	0.5	17
79/71		3	2	0.5	17
69/72	Coldenhove, stuifzand drift sand	3	1	1	19
69/73	Coldenhove, dekzand cover sand	2	1.5	1	13

69/74	Hupkesbos, stuifzand drift sand	3.5	1.5	1	12
69/75		4	2	0.5	13
69/76	Stadsbos, stuifzand drift sand	2.5	1	1.5	15
69/77		2.5	1.5	1	16
69/78	Stadsbos, preglaciaal materiaal preglacial material	3	1	0.5	14
69/79	Stadsbos, stuifzand drift sand	4.5	2	1.5	12
69/80		3.5	0.5	0.5	13
69/81	Stadsbos, preglaciaal materiaal preglacial material	3.5	2.5	1	17
67/40	Leuvenumse Bos, stuifzand drift sand	2	0.5	1	10
67/41		1.5	1	0.5	15
67/42		2.5	0.5	0.5	12
67/43		2.5	1	1	12
67/47		3	0.5	1	8
67/48		2	1	1	17
69/49		3	1	0.5	13
69/87	Stadsbos, "rood zand" "red sand"	6	1.5	0.5	15
70/ 1	't Loo, fluvio-glaciaal materiaal, fluvio-glacial material	1	1	-	12
70/2	Woldberg, preglaciaal materiaal preglacial material	1	2.5	-	8
70/3		2	2	0.5	15
70/4	Welna, dekzand cover sand	1	1.5	0.5	12
70/5		2.5	2	-	20
70/6	Gortelse Berg, dekzand cover sand	1.5	1	0.5	10
70/7	't Loo, dekzand cover sand	0.5	0.5	-	8
70/8	Engeland, dekzand cover sand	1	1	-	10
70/9	Oldhorst, dekzand cover sand	1.5	0.5	0.5	10
70/10	Mullegen, stuifzand drift sand	1	1	-	10
70/11	Mullegen, fluvio-glaciaal materiaal, fluvio-glacial material	2	2	-	15
70/12	Weesinge, dekzand cover sand	1	0.5	-	20
70/13	De Zoom, stuifzand drift sand	1	0.5	-	10
70/14	De Zoom, dekzand cover sand	1	-	-	10
70/15		1	1	-	20
70/16	De Zoom, stuifzand drift sand	1	1	-	8
70/17	De Zoom, dekzand cover sand	1	0.5	0.5	10
70/18	De Zoom, fluvio-glaciaal materiaal, fluvio-glacial material	1	1	-	12
70/21	Mullegen, dekzand cover sand	0.5	1	-	12
70/22		0.5	-	-	10
70/27	Mullegen, stuifzand drift sand	2	0.5	-	12
70/28		1	0.5	-	12
70/29	Mullegen, dekzand cover sand	0.5	0.5	-	10

Appendix 5: Gewichtspercentages zware mineralen van enkele korrelgroottefrakties

Weight percentages of heavy minerals of several grainsize fractions

Groep 1 - Noord-Veluwse stuifzanden
2 - Midden-Veluwse stuifzanden
3 - Oost-Veluwse stuifzanden
4 - stuifzandprofiel Stroese Zand
5 - stuifzandprofiel Terlet
6 - Veluwse dekzanden

Group 1 - drift sands of the northern Veluwe
2 - " " " " central "
3 - " " " " eastern "
4 - drift sand profile
5 - " " "
6 - cover sands of the Veluwe

monster nummer sample number	lokatie location	500-50 µm	500-210 µm	210-150 µm	150-105 µm	105-50 µm
1						
70/27	Mullegen	0.34	0.02	0.07	0.46	1.69
70/28		0.11	0.03	0.04	0.16	0.33
70/10		0.74	0.05	0.13	0.79	2.60
70/13	De Zoom	0.25	0.03	0.08	0.26	0.82
70/16		0.26	0.05	0.07	0.40	1.12
71/49	Wieselse Enk	0.25	0.05	0.20	0.65	1.32
71/50		0.25	0.07	0.26	0.86	0.79
71/65	Hendriksbos	0.44	0.03	0.14	0.47	1.26
71/66		0.49	0.03	0.14	0.51	1.40
71/67	Zandenbos	0.19	0.02	0.10	0.24	1.19
71/68		0.22	0.02	0.07	0.35	1.18
72/6	Vierhoutense Heide	0.23	0.09	0.17	0.28	2.05
72/7		0.18	0.07	0.16	0.41	1.93
77/17	Leuvenumse Bos				0.32	0.66
77/18					0.26	2.92
77/19					0.24	0.41
77/20					0.15	0.50
77/21					0.30	1.25
2						
71/29	Wekeromse Zand	0.56	0.02	0.13	0.46	1.44
71/30		0.70	0.04	0.13	0.71	2.68
71/31		0.60	0.03	0.14	0.58	2.27
71/32		0.70	0.05	0.20	0.82	3.38
71/53	Otterlose Zand	0.58	0.05	0.18	0.66	2.39
71/54		0.47	0.05	0.19	0.77	3.23
71/55		0.38	0.04	0.20	0.70	2.07
71/56		0.26	0.04	0.11	0.50	1.23
69/4G	Kootwijkerduinen	1.09	0.08	0.26	0.92	4.84
71/35	Kootwijkse Bos	0.83	0.04	0.23	0.99	3.67
71/36		0.71	0.05	0.14	0.72	3.11
71/37		0.56	0.04	0.18	0.68	2.30
71/38		0.55	0.03	0.15	0.64	1.96
71/12	Kootwijkse Zand	0.16	0.06	0.12	0.61	3.07
72/32	De Hoge Veluwe	0.33	0.07	0.21	0.75	3.39
3						
72/1	Woeste Hoeve	0.15	0.14	0.29	0.98	4.05
72/2		0.36	0.10	0.27	0.73	3.90
72/3		0.54	0.12	0.32	0.17	5.74
71/19	Schansenberg	0.19	0.05	0.20	0.76	2.67
71/20		0.34	0.05	0.16	0.61	1.78
71/21	Schalterberg	0.34	0.04	0.14	0.78	2.50
71/22		0.28	0.05	0.18	0.71	2.51
77/34	Coldenhove				0.88	3.95
77/35					1.09	4.45
77/36					1.18	3.18
77/37					1.17	3.99
77/47	Hupkesbos				1.10	6.20
77/48					1.32	3.43
77/49					1.21	6.23
77/50					1.27	6.22
4						
69/1C	Stroese Zand	0.35	0.06	0.11	0.36	0.70
69/2C		0.49	0.07	0.12	0.26	1.12
69/3C		0.36	0.03	0.10	0.27	0.94
69/4C		0.54	0.04	0.10	0.44	1.59
69/5C		0.32	0.04	0.14	0.51	0.61
5						
72/11	Terlet	0.11	0.03	0.11	0.43	1.20
72/10		0.08	0.03	0.12	0.34	1.32
72/9		0.08	0.05	0.18	0.49	1.57
72/8		0.17	0.06	0.17	0.43	1.32
6						
70/21	Mullegen	0.51	0.05	0.12	0.41	1.18
70/22		1.32	0.10	0.11	1.25	3.08
70/12	Wessinge	0.24	0.02	0.11	0.25	0.88
70/14	De Zoom	0.29	0.03	0.05	0.24	1.08
70/15		0.48	0.05	0.33	1.01	1.91
70/17		0.19	0.03	0.11	0.42	0.20

70/4	Welna	0.38	0.07	0.16	0.46	1.98	77/24		0.42	1.01
70/5		0.52	0.08	0.17	0.85	2.17	77/29	Otterlose Bos	0.42	0.85
70/6	Gortelse Berg	0.44	0.07	0.24	0.70	2.32	77/30		0.42	2.62
70/7	't Loo	0.14	0.02	0.07	0.13	0.34	77/31		0.27	1.83
70/8	Engeland	0.66	0.05	0.14	0.60	1.87	77/38	Coldenhove	0.90	4.11
70/9	Oldhorst	0.32	0.03	0.28	0.33	1.28	77/39		1.67	4.79
72/13	Kootwijkse Zand	0.35	0.07	0.09	0.43	1.46	77/40		1.41	4.71
72/31	De Hoge Veluwe	0.42	0.11	0.33	1.00	3.99	77/41		0.70	1.67
72/4	Woeste Hoeve	0.33	0.15	0.38	1.01	2.61	77/42	Hupkesbos	1.07	3.79
72/5		0.28	0.08	0.24	0.58	2.90	77/43		1.22	4.48
77/22	Leuvenumse Bos				0.36	0.93	77/44		1.08	3.12
77/23					0.25	0.93	77/45		1.07	3.70

Appendix 6: Afrondingsklassen en -index van Veluwse stuifzanden, dekzanden en andere afzettingen
Roundness classes and -index of drift sands, cover sands and other deposits

monsternummer sample number	lokatie en materiaal location and material	korrelgroottefraktie in µm grainsize fraction in µm	afrondingsklassen roundness classes H	ZZ	Z	N	S	ZS	O *	-index A.I. in %
			vermenigvuldigingsfaktor multiplication factor 0	1	2	4	6	7	8	
69/61	Otterlose Bos, stuifzand drift sand	75 - 105	-	8	54	20	6	3	1	37
		105 - 150	-	4	44	41	9	2	-	40
		210 - 300	-	-	24	70	5	1	-	46
		300 - 420	-	-	22	69	5	4	-	47
		420 - 600	-	-	14	69	11	6	-	51
		600 - 1000	-	-	12	72	12	4	-	51
69/27	Otterlose Bos, top rand-walduin top bordering dune ridge	75 - 105	3	2	34	53	6	1	1	42
		105 - 150	1	1	38	51	9	-	-	42
		210 - 300	-	-	26	56	17	-	1	49
		300 - 420	-	1	13	73	10	2	1	50
		420 - 600	-	-	21	55	23	1	-	51
69/51	Franse Berg, loefzijde basis randwalduin stoss-side base bordering dune ridge	50 - 75	-	17	56	20	5	1	1	32
		75 - 105	-	9	65	23	2	1	-	31
		105 - 150	-	3	40	52	3	2	-	40
		210 - 300	-	-	26	62	9	3	-	47
		300 - 420	-	-	21	71	8	-	-	47
		420 - 600	-	-	16	69	10	5	-	50
		600 - 1000	-	-	14	63	16	6	1	53
69/68	Rosendaalse Zand	75 - 105	5	2	32	51	6	3	1	42
		105 - 150	1	2	35	50	11	1	-	43
		210 - 300	-	-	5	75	19	1	-	54
		300 - 420	-	-	11	54	33	1	1	56
70/10	Mullegen	105 - 150	-	7	52	33	6	2	-	37
		210 - 300	-	2	20	60	14	4	-	49
71/73		105 - 150	-	3	33	47	10	5	2	46
		210 - 300	-	1	15	64	17	3	-	51
71/74		105 - 150	-	2	34	53	5	4	2	44
		210 - 300	-	1	20	59	13	6	1	51
70/13	De Zoom	105 - 150	-	7	52	37	4	-	-	35
		210 - 300	-	1	21	52	24	2	-	51
70/16		105 - 150	-	6	55	34	3	2	-	35
		210 - 300	-	-	27	60	12	1	-	47
71/49	Wieselse Zand	105 - 150	-	2	49	40	6	3	-	40
		210 - 300	-	1	16	62	18	2	1	51
71/50		105 - 150	-	9	37	41	8	5	-	41
		210 - 300	-	-	23	60	12	5	-	49
71/21	Schalterberg	105 - 150	-	1	29	57	8	4	1	46
		210 - 300	-	1	12	61	22	4	-	54
		105 - 150	-	3	39	44	10	4	-	43
71/22		210 - 300	-	1	11	66	20	2	-	53
67/18	Otterlose Bos, dekzand cover sand	75 - 105	-	-	25	66	8	-	1	46
		105 - 150	-	-	17	66	14	3	-	50
		210 - 300	-	1	14	62	22	1	-	52
		300 - 420	-	-	7	60	31	1	1	57
		420 - 600	-	1	13	41	43	2	-	58
		600 - 1000	-	2	9	42	33	10	4	61

			A	VW	W	M	S	VS	O	R.I.
69/65	Stroese Zand	16 - 50		48	40	10	2		-	± 20
		50 - 75	-	45	35	17	2	1	-	± 25
		75 - 105	-	18	49	26	2	5	-	33
		105 - 150	1	2	59	29	7	2	-	36
		210 - 300	-	-	19	62	18	1	-	50
		300 - 420	-	1	16	57	19	5	2	53
70/14	De Zoom	105 - 150	-	9	46	33	8	3	1	39
		210 - 300	-	1	26	51	14	7	1	50
70/15		210 - 300	2	3	29	49	15	2	-	45
70/17		105 - 150	-	14	41	28	10	5	2	40
		210 - 300	-	2	26	54	14	4	-	28
70/2	Woldberg, preglaciaal materiaal preglacial material	210 - 300	2	16	33	38	10	1	-	38
		300 - 420	4	3	28	46	14	4	1	45
70/3		210 - 300	2	5	30	50	8	5	-	43
		300 - 420	-	4	28	35	22	8	3	51
70/11	Mullegen, fluvio-glaciaal materiaal fluvio-glacial material	105 - 150	5	31	41	21	1	1	-	26
		210 - 300	1	2	31	57	9	-	-	43
70/18	De Zoom	105 - 150	6	15	41	31	6	1	-	33
		210 - 300	-	7	24	49	12	8	-	47

*A VW W M S VS O R.I.

A - angular; VW - very weakly rounded; W - weakly rounded; M - medium rounded; S - strongly rounded; VS - very strongly rounded; O - oviform (egg-shape) representing the highest possible degree of roundness; R.I. - Roundness Index

Appendix 7: Afrondingsklassen en -index van Veluwse stuifzanden, dekzanden en andere afzettingen, fraktie 150-210µm
Roundness classes and -index of drift sands, cover sands and other deposits of the Veluwe, fraction 150-210µm

Groep 1 - Noord-Veluwse stuifzanden
2 - Midden-Veluwse stuifzanden
3 - Oost-Veluwse stuifzanden
4 - Veluwse dekzanden
5 - Veluwse fluvio-glaciale en preglaciale afzettingen
6 - fluviatiele afzettingen
diversen - stuifzanden

Group 1 - drift sands of the northern Veluwe
2 - " " " " central "
3 - " " " " eastern "
4 - cover sands of the Veluwe
5 - fluvio-glacial and pre(Saalian) glacial deposits
6 - fluviatiele deposits
miscellaneous - drift sands

monster nummer / sample number	lokatie / location	afrondingsklassen / roundness classes * H	ZZ	Z	N	S	ZS	O	-index A.I. in %
		vermenigvuldigingsfaktor / multiplication factor 0	1	2	4	6	7	8	
1									
67/47	Leuvenumse Bos	-	4	38	46	7	3	-	42
67/48		-	1	38	47	11	3	-	44
67/49		-	2	37	30	6	5	-	43
70/13	De Zoom	-	5	33	45	10	3	4	45
70/16		-	1	40	49	8	2	-	42
70/10	Mullegen	1	2	41	45	4	7	-	42
71/73		-	-	21	60	14	4	1	50
71/74		-	1	22	60	12	3	2	49
77/17	Leuvenumse Bos	-	3	17	59	17	4	-	50
77/18		-	2	21	63	9	5	-	48
77/19		-	3	34	53	7	2	1	43
77/20		-	2	28	61	7	2	-	45
77/21		-	2	17	72	6	3	-	48
77/25	Willemsbos	-	10	16	63	7	4	-	46
77/26		-	2	28	59	9	2	-	45
77/27		-	3	20	65	8	4	-	47
77/28		-	4	23	61	7	5	-	46
2									
69/1	Otterlose Bos, loefzijde basis randwalduin stoss-side base	-	1	38	52	8	1	-	43
69/3		-	3	36	53	7	1	-	42
69/4		-	3	45	43	7	2	-	40
69/5	bordering dune ridge	-	-	37	47	15	1	-	45
69/8		-	-	27	60	13	-	-	47
69/9		-	3	34	55	7	1	-	42
69/15		-	3	35	57	4	1	-	41
69/17		-	4	27	63	6	-	-	43
67/25	Otterlose Bos, top randwalduin, top bordering dune ridge	-	2	38	48	9	3	-	43
67/29		-	1	38	50	7	4	-	43
69/21		-	1	32	60	6	1	-	44
69/22		-	-	34	57	7	2	-	44
69/24		-	-	20	65	14	1	-	49
69/27		-	2	36	51	11	-	-	44
69/28		-	2	39	48	8	2	1	43
69/31		-	2	27	65	6	-	-	44
69/61		1	6	32	46	9	6	-	44
69/51	Fränse Berg	-	1	38	57	4	-	-	41
69/56		-	1	35	59	4	1	-	42
69/57		-	3	42	45	8	2	-	41
69/58		-	2	45	50	3	-	-	39
69/59		-	3	32	56	8	1	-	43
69/44	Mosselse Zand	-	-	32	59	6	3	-	45
69/47		-	5	27	59	6	2	1	44
69/85	Ruimzicht	-	6	38	44	11	1	-	41
69/86		-	2	41	46	8	3	-	42
3									
67/65	Spelderholt	-	2	33	52	9	4	-	45
67/66		-	2	27	60	8	3	-	46
67/67		-	3	32	55	8	1	1	44
69/68	Rozendaalse Zand	-	-	32	62	6	-	-	44
69/74	Hupkesbos	-	4	20	63	13	-	-	47
69/75		-	2	18	60	16	4	-	50
69/76	Stadsbos	-	6	29	52	9	3	1	44
69/77		-	7	33	49	9	2	-	42
69/80		-	3	31	58	4	4	-	44
71/21	Schalterberg	-	-	13	66	18	3	-	52
71/22		-	1	10	70	16	2	1	52
71/49	Wieselse Zand	-	2	23	55	12	8	-	49
71/50		-	2	24	53	17	3	1	49
69/69	Worth Rhedense Zand	-	4	24	57	10	5	-	47
69/72	Coldenhove	-	2	20	67	7	4	1	48
71/19	Schansenberg	-	2	14	64	15	4	1	51
71/20		-	4	16	57	18	4	1	51

4									
67/18	Otterlose Bos	-	-	17	64	17	2	-	51
67/21		-	-	20	62	16	2	-	50
69/65	Stroese Zand	-	2	46	38	10	3	1	42
69/73	Coldenhove	-	4	25	50	17	3	1	48
69/87	Leuvenumse Bos	-	2	31	58	6	3	-	44
70/4	Welna	-	4	36	50	8	2	-	42
70/5		-	4	33	44	11	6	2	46
70/7	't Loo	-	4	37	47	11	-	1	42
70/9	Oldhorst	-	-	31	50	14	5	-	48
70/14	De Zoom	-	-	39	53	5	3	-	43
70/15		2	12	29	44	8	3	2	41
70/17		-	1	30	52	10	7	-	47
70/21	Mullegen	-	2	30	52	12	2	1	46
70/22		1	2	22	60	13	2	-	47
77/29	Otterlose Bos	-	-	19	65	13	3	-	50
77/30		-	1	18	63	10	8	-	51
77/31		-	4	27	54	9	6	-	46
77/32		-	1	17	61	18	3	-	51
77/33		-	1	23	66	9	1	-	47
77/42	Hupkesbos	-	1	24	63	7	5	-	47
77/43		-	4	22	60	11	3	-	47
77/44		-	6	22	58	11	3	-	46
77/45		-	2	11	66	14	7	-	52
77/46		-	2	35	45	11	6	1	46
5									
69/81	Stadsbos	1	12	38	42	6	1	-	37
70/2	Woldberg	7	18	29	36	8	1	1	35
70/3		2	5	35	44	13	1	-	42
70/11	Mullegen	1	9	41	37	10	1	1	39
70/18	De Zoom	3	8	40	37	9	3	-	39
68/1	Putten	1	15	25	57	1	1	-	38
68/2	Elspeet	3	5	32	52	8	-	-	40
6									
68/3	Rossum	16	28	35	19	2	-	-	23
68/4	Vianen	8	31	39	21	1	-	-	25
68/5	Lith	4	19	40	28	9	-	-	33
diversen miscellaneous									
71/27	Doesburgerbuurt	-	-	14	69	12	4	1	51
72/28		-	2	17	55	14	8	4	53
71/29	Wekeromse Zand	-	1	18	60	15	5	1	52
71/30		-	3	12	56	22	6	1	54
71/41	Voorthuizen	-	-	20	62	13	3	2	50
71/42		-	2	17	64	14	1	2	50

* A VW W M S VS O R.I.

A - angular; VW - very weakly rounded; W - weakly rounded M - medium rounded; S - strongly rounded; VS - very strongly rounded; O - Oviform (egg-shape) representing the highest possible degree of roundness; R.I. - Roundness Index

PUBLICATIES VAN HET FYSISCH GEOGRAFISCH EN BODEMKUNDIG LABORATORIUM VAN DE UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM.

1. B.W. Koldewijn (1958)
   Sediments of the Paria-Trinidad-Shelf.

2. P.D. Jungerius (1958)
   Zur Verwitterung, Bodenbildung und Morphologie der Keuper-Lias-Landschaft bei Moutfort in Luxembourg.

3. M.J.J. Bik (1960)
   Zur Geomorphologie und Glazialgeologie des Frödischbach- und Mültobeltals in Vorarlberg (Oesterreich).

4. J.P. Bakker and Th.W.M. Levelt (1964)
   An inquiry into the probability of a polyclimatic development of peneplains and pediments (etchplains) in Europe during the Senonian and Tertiary Period.
   P.D. Jungerius (1964)
   The soils of Eastern Nigeria.

5. J.F. van Regteren Altena, J.A. Bakker, A.T. Clason, W. Glasbergen, W. Groenman-van Waateringe and L.J. Pons (1964)
   The Vlaardingen culture.

6. Th.W.M. Levelt (1965)
   Die plateaulehme Süd-Luxemburgs und ihre Bedeutung für die morphogenetische Interpretation der Landschaft.

7. C. Smit Sibinga-Lokker (1965)
   Beiträge zur Geomorphologie und Glazialgeologie des Einzugsgebietes der Dornbirner Ache (Vorarlberg, Oesterreich).

8. P. Verhoeff (1966)
   Geomorphological and pedological investigations in the Redange-sur-Attert area (Grand-Duchy of Luxembourg).

9. D.H. Porrenga (1967)
   Clay mineralogy and geochemistry of Recent marine sediments in tropical areas.

10. H.G.J. Huizing (1967)
    Geomorfologische problemen in het zuid-oosten van België (omgeving Florenville).

11. J.J.G.M. Van Boeckel (1968)
    Gravitational and geomagnetic investigations in Surinam and their structural implications.

12. J. Quakernaat (1968)
    X-ray analysis of clay minerals in some recent fluviatile sediments along the coast of central Italy.

13. J.J. Wensink (1968)
    The Emma range in Surinam.

14. A.W.L. Veen (1970)
    On geogenesis and pedogenesis in the Old Coastal Plain of Surinam (South America).

15. J. Wiersma (1970)
    Provenance, genesis and paleogeographical implications of microminerals occurring in sedimentary rocks in the Jordan Valley area.

16. From Field to Laboratory (1970)
    Twenty samples of physical geography, dedicated to Dr. H.J. Müller.

17. J.P. de Waart (1971)
    Reconstruction of the cenozoic evolution of a polygenetic landscape near Cannes, S.E. France.

18. H.M. Yahia (1971)
    Soils and soil conditions in sediments of the Ramadi Province (Iraq).

19. R.H.G. Bos (1971)
    Quaternary evolution of a mountainous area in N.W. Tunisia.

20. D. Goosen (1971)
    Physiography and soils of the Llanos Orientales, Colombia.

21. J. Sevink (1974)
    Landscape evolution and soils of the southwestern Velay (France).

22. R. de Groot (1974)
Quantitative analysis of pediments and fluvial terraces applied to the basin of Monforte de Lemos, Galicia, N.W. Spain.

23. C.J.J.H. Schouten (1976)
Origin and output of suspended and dissolved material from a catchment in Northland (New Zealand), with particular reference to man-induced changes.

24. M.J. Kooistra (1978)
Soil development in recent marine sediments of the intertidal zone in the Oosterschelde - The Netherlands. A soil micromorphological approach.

25. P. van der Linden (1978)
Contemporary soil erosion in the Sanggreman river basin related to the Quaternary landscape development.
A pedogeomorphic and hydro-geomorphological case study in Middle-Java, Indonesia.

26. H.J.M. van Zon (1978)
Litter transport as a geomorphic process (a case study in the Grand-Duchy of Luxembourg).

3 0112 077333307

● *Pinus*

○ *Betula*

▮ *Corylus*

□ *Alnus*

△ *Fagus*

▲ *Carpinus*

——— *Quercus*

------- *Tilia*

.... *Ulmus*

xxxxxxx *Fraxinus*

⊕ *Salix*

1 monsternummers/ sample numbers

2 (sub)zones Subatlanticum/ (sub)zones Subatlantic

3 lithologie en bodemhorizonten/ lithology and soil horizons

materiaallegenda/ legend lithology

stuifzand/ drift sand

dekzand/ cover sand

grindhoudend preglaciaal materiaal/ gravelly pre(Saalian)glacial material

grindlaag/ gravel layer

humeuze laag/ humose layer

laag met houtskooldeeltjes/ layer with charcoal particles

meerbodem sediment/ organic mud

venig zand/ peaty sand

*Sphagnum*veen/ *Sphagnum* peat

*Carex*veen/ *Carex* peat

*Eriophorum*veen/ *Eriophorum* peat

watermos/ watermoss peat

4 diepte in cm - m.v./ depth in cm below surface

Appendix 8: Legenda van de geomorfologische kaarten (appendix 9 en figuren 11.6 en 11.10) en van de pollendiagrammen (figuren 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.8, 10.10, 10.11, 10.12, 10.14 en 10.15)/
Legend geomorphological maps (appendix 9 and figures 11.6 and 11.10) and pollen diagrams (figures 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.8, 10.10, 10.11, 10.12, 10.14 and 10.15)

		(1)	(2)	(3)
1	hellend terreingedeelte, stuwwal of kame-terras/ slope, ice-pushed ridge or kame-terrace		$0,5-5^0$	
2	vlak tot zwak hellend terreingedeelte, stuwwal of kame-terras/ flat to gently sloping area, ice-pushed ridge or kame-terrace		$<0,5^0$	
3	idem, met dunne dekzandbedekking/ idem, with a thin layer of cover sand	<1m	$<0,5^0$	
4	idem, met dunne stuifzandbedekking/ idem, with a thin layer of drift sand	<1m	$<0,5^0$	
5	reliëfrijk aktief stuifzandgebied/ active drift sand relief with steep very short slopes			1,5-10m
6	reliëfrijk stuifzand-duinkomplex, al of niet op bodemprofiel in dekzand/ drift sand relief with steep very short slopes, on a soil profile in cover sand or otherwise			1,5-10m
7	reliëfarme stuifzand-welving of -vlakte, overwegend op bodemprofiel in dekzand/ flat or gently undulating drift sand relief, predominantly on a soil profile in cover sand			<1,5m
8	idem, overwegend op uitgestoven laagte/ idem, predominantly on a "blown-out" area			<1,5m
9	vlakte, overwegend uitgestoven laagte in grindhoudend materiaal, met lokaal opgestoven stuifzandheuvels/ plain, predominantly "blown-out" area in gravelly material, locally with "blown-up" drift sand hills			<0,5m (<10m)
10	geïsoleerde stuifzandrug (randwal- en houtwalduin, stuifdijk), overwegend op bodemprofiel in dekzand/ isolated drift sand ridge ("bordering dune ridge", "brushwood sand ridge", "dike sand ridge"), predominantly on a soil profile in cover sand			1,5-10m/ >10m
11	geïsoleerde stuifzandheuvel (plateaurestduin)/ isolated drift sand hill ("plateau-dune")			1,5-10m
12	geïsoleerde stuifzandheuvel, op bodemprofiel in dekzand/ isolated drift sand hill, on a soil profile in cover sand			1,5-10m
13	geïsoleerde stuifzandheuvel, op uitgestoven laagte/ isolated drift sand hill, on a "blown-out" area			1,5-10m
14	golvend dekzand gebied/ undulating cover sand area			>1,5m
15	zwak golvend dekzandgebied/ gently undulating cover sand area			<1,5m
16	vlak dekzandgebied/ flat cover sand area			<0,5m
17	zwak golvend dekzandgebied, met dunne stuifzandbedekking/ gently undulating cover sand area, with a thin layer of drift sand	<1m		<1,5m
18	vlak dekzandgebied, met dunne stuifzandbedekking/ flat cover sand area, with a thin layer of drift sand	<1m		<0,5m
19	(geïsoleerde) dekzandrug, met oud bouwlanddek/ (isolated) cover sand ridge, with a "Plaggen soil"	>0,5m		<1,5m/ 1,5- 5m
20	golvend dekzandgebied, met oud bouwlanddek/ undulating cover sand area, with a "Plaggen soil"	>0,5m		>1,5m
21	zwak golvend dekzandgebied, met oud bouwlanddek/ gently undulating cover sand area, with a "Plaggen soil"	>0,5		<1,5m
22	vlak dekzandgebied, door lokale veenvorming beïnvloed/ flat cover sand area, locally influenced by peat formation			<0,5m
23	laag gelegen vlak gebied, zee-afzettingsvlakte/ tidal accumulation plain			<0,5m
24	laag gelegen vlak gebied, beek-afzettingsvlakte, lokaal met dunne dekzandbedekking/ fluvial accumulation plain, locally with a thin layer of cover sand	<1m		<0,5m

bebouwde kom/ built-up area

weg/road

spoorlijn/ railway

meer of ven/ lake or fen

beek/ brook

moerassig gebied/ marshy area

duidelijke begrenzing/ clear boundary

vage begrenzing/ vague boundary

(1) dikte van de bedekkende laag/ thickness of the topmost layer

(2) maximale hellingshoek/ maximum slope angle

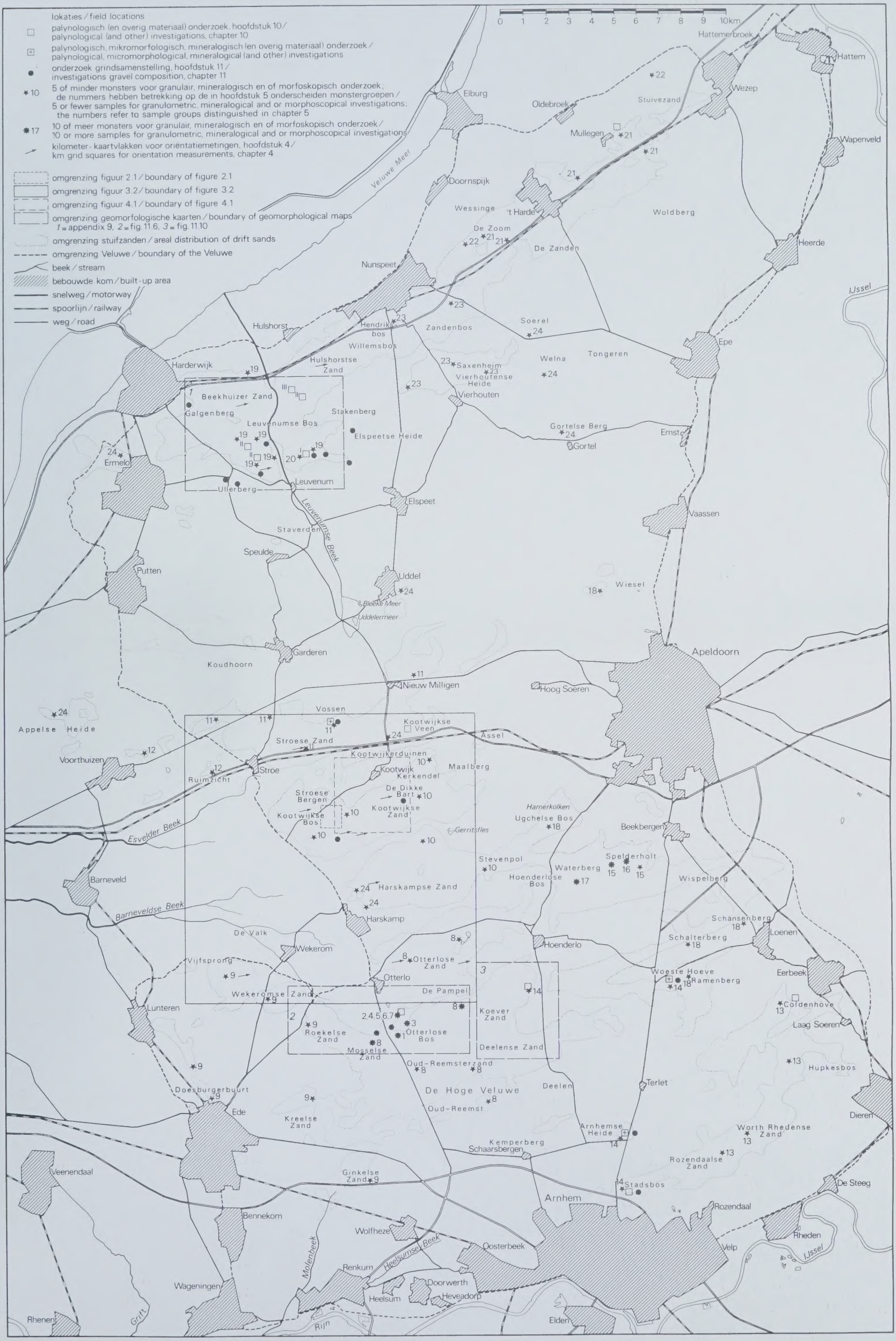
(3) relatief hoogteverschil (vanuit één waarnemingspunt te overzien) binnen de kaarteenheid/ relative height difference within the mapping unit

Appendix 2: De verbreiding van aktieve en door vegetatie vastgelegde stuifzanden van de Veluwe/
The areal distribution of active and stabilized drift sands of the Veluwe

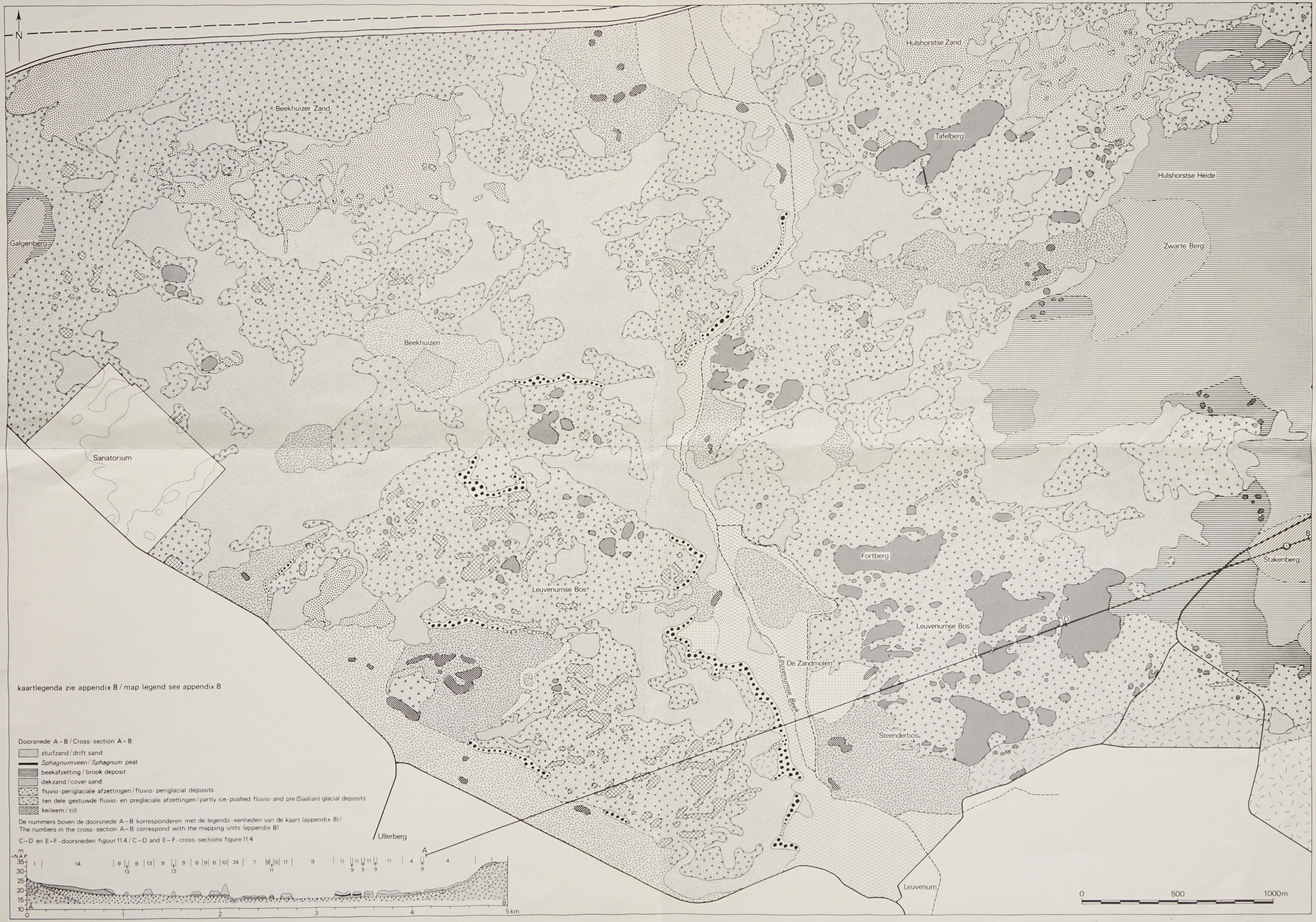
Appendix 1: Kaart van de Veluwe, met in de tekst genoemde lokaties, omgrenzing detailkaarten, bemonsteringsplaatsen voor materiaalonderzoek en overige waarnemingspunten/
Location map, showing the mapped areas and the sampling and orientation measurement sites

De stuifzanden van de Veluwe; een fysisch-geografische studie/
The eolian drift sands of the Veluwe (Central Netherlands); a physical geographical study

E.A. Koster (1978)



Appendix 9: Geomorfologische kaart van de stuifzanden van het Leuvenumse Bos, het Beekhuizer Zand en het Hulshorstse Zand/
Geomorphological map of the drift sands of the Leuvenumse Bos, the Beekhuizer Zand and the Hulshorstse Zand

De stuifzanden van de Veluwe; een fysisch-geografische studie/
The eolian drift sands of the Veluwe (Central Netherlands);
a physical geographical study

E.A. Koster (1978)